



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

RIINA LAHTI

ÄLYKKÄÄT RATKAISUT KAUKOLÄMPÖVERKOISSA

Diplomityö

Tarkastaja: professori Seppo
Tikkanen

Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Teknisten tieteiden tiedekunta-
neuvoston kokouksessa 26. huh-
tikuuta 2017

TIIVISTELMÄ

RIINA LAHTI: Älykkäät ratkaisut kaukolämpöverkoissa

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 70 sivua, 2 liitesivua

Joulukuu, 2017

Automaatiotekniikan koulutusohjelma

Pääaine: Hydraulikka ja automatiikka, hydrauliteknikka

Tarkastaja: professori Seppo Tikkanen

Avainsanat: kaukolämpö, kaukokylmä, venttiili, toimilaite, automaatio, mitta-anturi, etäohjaus

Automaation käyttö eri yhteiskunnan osa-alueilla on lisääntynyt viime vuosina. Kaukolämpöalalla voimalaitokset, pumppaamot ja väliasemat ovat usein etäluettavissa ja etäohjattavissa, mutta itse kaukolämpöverkon puolella älykkäitä ratkaisuja on melko vähän käytössä. Työn tavoitteena oli selvittää, millaisia älykkäitä ratkaisuja kaukolämpöverkoissa Suomessa on nykyisin käytössä ja millaisille ratkaisuille olisi tarvetta tulevaisuudessa. Lisäksi työn tavoitteena oli selvittää millaisia hyötyjä älykkäillä ratkaisuilla olisi mahdollista saavuttaa kaukolämpöverkoissa. Työn aluksi tutkittiin aiheeseen liittyvää taustateoriaa kaukolämpöalaa, kaukolämpöverkon ohjaukseen käytettäviin venttiileihin ja teollisuudessa käytettyihin älykkäisiin ratkaisuihin liittyen yleiskäsityksen ja vertailupohjan luomiseksi. Tutkimus toteutettiin kvalitatiivisena haastattelututkimuksena ja tutkimukseen osallistui viisi suomalaista energiayhtiötä. Haastattelut toteutettiin elo-lokuussa 2017 energiayhtiöiden tiloissa.

Nykyisin kaukolämpöverkoissa on paine-ero-, lämpötila- ja virtausmittauksia, mutta mittauksia löytyy vain puolilta haastatelluista. Lisäksi yhdeltä haastatellulta löytyy automaattinen kaivon kunnonvalvontalaitteisto, joka mittaa kaivosta lämpötilaa, vedenpinnan korkeutta sekä kosteutta ja tiedot ovat luettavissa etänä. Etäohjattavia venttiilejä löytyy kaukolämpöverkoista suhteessa kokonaisventtiilimäärään vain vähän, lähinnä voimalaitoksen päästä ja kriittisimmistä haaroista. Lisäämällä mittauksia ja etäohjattavia venttiilejä kaukolämpöverkkoon haastatellut toivovat pystyvänsä havaitsemaan ja paikallistamaan vuotoja nopeammin, tasapainottamaan verkkoa, parantamaan verkon hyötysuhdetta ja saavuttamaan näin jopa satojen tuhansien eurojen säästöt vuosittain. Lisäksi halutaan kehittää muun muassa kaksisuuntaisia verkkoja, energiansäästöön perustuvia bonuspistejärjestelmiä sekä sähköinen huoltoloki venttiileille ja kaivoille. Ongelmakohtina nähdään muun muassa sähkönsyötön järjestäminen, tietoturva ja hinta.

Vexve Oy on toteuttanut prototyypin älykkästä venttiilielementistä syksyllä 2017. Elementti sisältää pääsulkuventtiilin, ohitusventtiilin ja ilmausventtiilien lisäksi paineanturit molemmilla puolilla pääsulkuventtiiliä, lämpötila- ja kiihtyvyyssanturit venttiilin rungossa sekä ympäristön lämpötilan ja kosteuden mittaukset. Lisäksi elementissä on termoelektroninen generaattori, jonka avulla tuotetaan verkon väliaineen ja ympäristön välisestä lämpötilaerosta paikallisesti sähköä antureille. Lisäksi elementtiin kuuluvat langattomaan tiedonsiirtoon liittyvät komponentit ja pilvipalvelu mittausten tarkasteluun. Jatkokehitysvaiheessa prototyyppiin tulee lisätä myös virtausmittari sekä etäohjattava toimilaite. Lisäksi tulee pohtia miten tiedonsiirtoajapinta erilaisiin energiayhtiöiden käyttämiin prosessienohjausjärjestelmiin toteutetaan. Myös kokonaisuuden kustannustehokkuutta tulee pyrkiä lisäämään muun muassa käyttämällä yhdistelmäantureita.

ABSTRACT

RIINA LAHTI: Smart Solutions in District Heating Networks

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 70 pages, 2 Appendix pages

December, 2017

Degree Program in Automation Technology

Major: Fluid Power

Examiner: professor Seppo Tikkanen

Keywords: district heating, district cooling, valve, actuator, automation, sensor, remote control

The use of automation has grown in different fields of society in the last few years. In district heating power plants, pumping stations and consumer equipment are often remote readable and controllable, but in district heating networks there are only a few smart solutions used. The goal of this thesis was to find out what kind of smart solutions are used in district heating networks in Finland and also what kind of smart solutions would be needed in the networks in the future. Furthermore the goal was to find out what kind of benefits would be possible to achieve by using smart solutions in the networks. At first background theory concerning district heating, valves used for control of the networks and smart solutions in different fields of industry were examined to get overview and baseline of the topic. Study was carried out as qualitative interviews and five Finnish energy companies were interviewed. The interviews were carried out in between August and October in 2017 at the premises of the energy companies.

Today there are pressure, temperature and flow measurements in district heating networks, but only half of the interviewed companies had measurements in their networks. Furthermore one interviewed company has an automatic well condition monitoring equipment, which measures temperature, water level and humidity in the wells. The information is remote readable. There are a few remotely controlled valves in the networks compared to total amount of valves and those are mostly located at the power plants or in critical intersections. By adding measurements and remotely controlled valves to district heating networks the interviewed companies hope to be able to detect and localize the leakages faster, to improve the efficiency of the networks and by these actions to save even hundreds of thousands of euros each year. Furthermore the energy companies would like to develop two-way heat delivery systems, bonus point systems based on saving energy and electrical maintenance log systems for valves and wells. Power supply, information security and price level are seen as problems.

Vexve Oy has developed a prototype of smart valve solution in autumn 2017. The solution consists of main valves, two pressure sensors, temperature sensor and accelerometer and measurements for the temperature and humidity of the environment. The solution also has a thermoelectric generator, which produces power locally for the sensors from the temperature difference of the medium and the environment. The solution also has components for wireless information transfer and a cloud service for analysis of the information. Further development of the prototype includes adding flow sensor and remotely controlled actuator and some consideration must also be done of how the interface to different process control systems of energy companies is carried out. The cost-efficiency of the solution must also be improved for example by using combination sensors.

ALKUSANAT

Diplomityöni on tehty Vexve Oy:lle osana tuotekehitysprojektia, jonka tarkoituksena on kehittää yrityksen tuotteita vastaamaan teollisuudessa yleistyvään digitalisoitumisen trendiin. Työn päätarkoituksena oli kartoittaa markkinatilannetta ja pohtia ratkaisuja, joiden avulla digitalisaatio voitaisiin tuoda myös kaukolämmön siirto- ja jakeluverkkoihin tuotantolaitosten lisäksi.

Haluan kiittää Vexve Oy:ltä etenkin työni ohjaajaa Jenni Koivusta, jonka ansiosta sain työlleni mielenkiintoisen aiheen ja lisäksi tukea sekä neuvoja koko kirjoitusprosessin aikana. Lisäksi haluan kiittää Vexve Oy:ltä myös erityisesti Maria Kallia, joka määritteli työni kohderyhmän ja Tuomas Teittistä venttiiliteknologiaan liittyvistä neuvoista ja ohjeista. Haluan kiittää myös esimiestäni Pasi Niemistä ja kaikkia muita Vexve Oy:n työntekijöitä, jotka ovat olleet osana diplomityöprosessiani.

Professori Seppo Tikkasta haluan kiittää työni tarkastamisesta ja avusta työni aiheen määrittelyssä sekä neuvoista ja ohjeista kirjoitusprosessin aikana. Erityisesti haluan kiittää myös jokaista haastattelemaani energiayhtiöiden edustajaa, joiden ansiosta työni onnistui ja joiden innostus ja mielenkiinto työtäni kohtaan ovat tehneet kirjoitusprosessista mielekäästä. Haluan kiittää myös perhettäni ja ystäviäni ymmärryksestä ja kannustuksesta aika ajoin raskaidenkin opiskelujeni aikana.

Huittisissa, 22.11.2017

Riina Lahti

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	1
2	KAUKOLÄMPÖ	3
2.1	Toimintaperiaate	3
2.1.1	Tuotanto	3
2.1.2	Siirto- ja jakeluverkko	7
2.2	Kaukolämpö Suomessa	8
2.3	Kaukolämmityksen tulevaisuus	10
3	VENTTIILIT KAUKOLÄMPÖVERKOSSA	12
3.1	Venttiilirakennetyypit	12
3.1.1	Palloventtiili	13
3.1.2	Läppäventtiili	17
3.2	Venttiilien ohjaus	21
3.2.1	Manuaalinen ohjaus	22
3.2.2	Pneumaattinen toimilaite	22
3.2.3	Sähköinen toimilaite	24
3.2.4	Hydraulinen toimilaite	26
4	ÄLYKKÄÄT RATKAISUT	28
4.1	Automaatio teollisuudessa	28
4.1.1	Kaukolämpöteollisuus	30
4.1.2	Muut teollisuuden alat	33
4.2	Älykäs venttiili	35
4.2.1	Flowserve - Starpac 3	35
4.2.2	Areva – ADAM [®] ja SIPLUG [®]	37
5	AUTOMAATIOTASON JA AUTOMAATION LISÄÄMISTARPEEN MÄÄRITTELY	38
5.1	Tavoitteet ja toteutus	38
5.2	Analysointimenetelmät	40
6	ÄLYKKÄÄT RATKAISUT KAUKOLÄMPÖVERKOISSA NYT JA TULEVAISUUDESSA	43
6.1	Kuluttajien tarpeet	43
6.1.1	Nykytilanne	43
6.1.2	Tulevaisuuden toiveet	53
6.2	Anturoitu venttiilielementti	61
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	65
	LÄHTEET	68

LIITE A: YHTEYDENOTTO

LIITE B: HAASTATTELURUNKO

LYHENTEET JA MERKINNÄT

BFC/BRC	Vexven täys-/supistettuaukkoisten yhdistettyjen sulku- ja säätöläppäventtiilien tuoteryhmän nimi
BFS/BRS	Vexven täys-/supistettuaukkoisten sulkuläppäventtiilien tuoteryhmän nimi
CHP-voimalaitos	Combined Heat and Power -voimalaitos, voimalaitos, joka tuottaa sekä sähköä että lämpöä
DCS	Distributed Control System, hajautettu ohjausjärjestelmä
DN-koko	Nimelliskoko, venttiilin sisähalkaisijan likimääräinen suuruus
HCFC-yhdisteet	Vetyä (kemiallinen merkki H), hiiltä (C), fluoria (F) ja klooria (Cl) sisältäviä kylmäaineina käytettyjä yhdisteitä
HCU Remote	Hydraulic Control Unit – hydraulisten toimilaitteiden etäohjauskaappi
HMI	Human Machine Interface, käyttäjän ja automaatiojärjestelmän rajapinta, esim. ohjauspaneeli
IGCC-voimalaitos	Integrated Gasification Combined Cycle -kombivoimalaitos, voimalaitos, jossa polttoaine kaasutetaan kaasuttimen avulla korkeassa paineessa ja lämpötilassa
IP-luokka	Sähkölaitteiden ja laitekoteloiden tiiviyn määrittävä luokka
ISO-järjestelmä	International Organization for Standardization, kansainvälinen standardoimisjärjestö
LAN	Local Area Network, rajatun alueen verkko, esim. voimalaitos
PAN	Personal Area Network, suppean alueen verkko, esim. kotiverkko
PFBC-voimalaitos	Pressurized Fluidized Bed Combustion -kombivoimalaitos, voimalaitos, jossa kiinteää polttoainetta poltetaan leijupedissä
PID-säädin	Proportional Integrative Derivative, säätötekniikan perussäädin, joka koostuu kolmesta toiminnosta
PLC	Programmable Logic Controller, ohjelmoitava logiikka
PN-luokka	Nimellispaine, venttiilin nimellinen paineensietokyky
RS-232-standardi	Määrittelee yksipäätteisen elektronisen tiedonsiirtorajapinnan
RTU	Remote Termination Unit, SCADA-järjestelmän etäpääte
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition, tiedon keruu- ja ohjausjärjestelmä
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol, tietoverkko-protokolla
TIA/EIA 422-	Standardi, määrittää sarjatiedonsiirtoon käytetyn tiedonsiirtorajapinnan
UTP	Kierretty parikaapeli
Wi-Fi	Langaton tiedonsiirtoprotokolla
TWh	Terawattitunti, energian yksikkö

1 JOHDANTO

Nykypäivänä automaation lisääminen on yleistynyt monilla yhteiskunnan osa-alueilla. Automaation lisäämisellä pyritään parantamaan tuottavuutta ja turvallisuutta muun muassa prosessihäiriöiden nopealla havainnoinnilla sekä automaation lisäämisellä ihmisille vaarallisiin prosesseihin. (Budampati & Kolavennu 2016) Teollisuudessa automaation avulla voidaan parantaa tuotteiden laatua ja prosessien energiatehokkuutta, optimoida henkilöresursseja sekä minimoida ympäristövaikutuksia (Raivio & Syrjänen 2005).

Kuvassa 1 on esitetty yleistysti automaation taso kaukolämpöjärjestelmän eri osissa. Kuten kuvasta nähdään, kaukolämpöjärjestelmissä muun muassa voimalaitosten ja pumpaamoiden prosessit ovat pitkälti automaattisia, mutta kaukolämpöverkon puolella automaattisia ratkaisuja on toistaiseksi melko vähän käytössä. Tässä työssä käsitellään automaatiota kaukolämpöverkoissa, jotka on kuvassa maalattu harmaalla.

Voimalaitokset

- Ohjaus valvomosta käsin, pääosin automaattinen, 1-2 operaattoria jatkuvasti paikalla
- Paljon mittauksia prosesseista

Pumppaamot, varavoimalaitokset

- Ohjaus voimalaitoksen valvomosta käsin, täysin automaattinen, ei paikallista ohjausta
- Paljon mittauksia

Kaukolämpöverkko

- Manuaalinen ohjaus
- Vähän mittaustietoa
- **Tavoite: Lisää automaattisia ratkaisuja**

Väliasemat

- Manuaalinen ohjaus
- Mittaukset energiayhtiöiden etäluettavissa

Kuva 1. Automaation taso kaukolämpöjärjestelmän eri osissa.

Tämä työ liittyy Vexve Oy:llä käynnissä olevaan tuotekehitysprojektiin, jonka tarkoituksena on lisätä automaatiota ja älykkäitä ratkaisuja myös kaukolämpöverkon puolelle. Työssä halutaan selvittää, millaisia älykkäitä ohjausratkaisuja kaukolämpöverkoissa on

jo nykyisin käytössä ja millaisia suuria kaukolämpöverkosta voidaan mitata. Lisäksi halutaan selvittää, millaisia tarpeita kaukolämpöverkoissa on älykkäille ratkaisuille tulevaisuudessa, eli millaisia kehitystarpeita alalla koetaan olevan. Tarkoituksena on myös määrittää, millaisia hyötyjä älykkäistä ratkaisuksista olisi kaukolämpöverkossa. Tutkimuksen avulla on tarkoitus saada lähtökohdat, joiden avulla eri alojen toimijat voivat kehittää älykkäitä ratkaisuja energiayhtiöiden liiketoiminnan avuksi.

Aluksi perehdytään työn taustateoriaan. Ensin tutustutaan kaukolämmön tuotantoon ja jakeluun, jotta pystytään muodostamaan käsitys energia-alasta ja kaukolämpöverkon nykytilasta sekä ohjaustavoista ja verkon rakenteesta. Tämän jälkeen perehdytään tarkemmin venttiileihin kaukolämpöverkoissa, sillä kaukolämpöverkon ohjaus tapahtuu käytännössä verkossa sijaitsevien venttiilien avulla. Lopuksi tutkitaan millaisia älykkäitä ratkaisuja kaukolämpöteollisuudessa ja muilla teollisuuden aloilla on käytössä ja esitellään kaksi esimerkkiä älykkäistä venttiileistä, joita käytetään muilla teollisuuden aloilla.

Tutkimusmenetelmänä on induktiivinen ja kvalitatiivinen tutkimus, sillä työn tarkoituksena on selvittää tutkimusongelmaan, eli älykkäisiin ratkaisuihin kaukolämpöverkoissa, liittyviä konteksteja. Työn tarkoituksena on muodostaa yleinen käsitys aiheesta selvittämällä ensin alalla päivittäin työskentelevien henkilöiden henkilökohtaisia käsityksiä aiheesta. Tästä syystä tutkimus toteutetaan haastatteleamalla energiayhtiöiden edustajia. Tutkimuksessa tutkitaan älykkäitä ratkaisuja suomalaisissa kaukolämpöverkoissa ja tutkimukseen osallistuu viisi energiayhtiötä, joiden tiedot on sovittu salassa pidettäväksi. Energiayhtiöt eroavat toisistaan niin koon, maantieteellisen sijainnin kuin automaatioasteenkin osalta. Haastattelut on pidetty syksyllä 2017. Työn merkittävämät saavutukset ovat nykytilanteen ja tulevaisuuden kysynnän määrittely älykkäille ratkaisuille kaukolämpöverkoissa sekä niiden pohjalta Vexven älykkään venttiilielementin prototyypin arviointi.

2 KAUKOLÄMPÖ

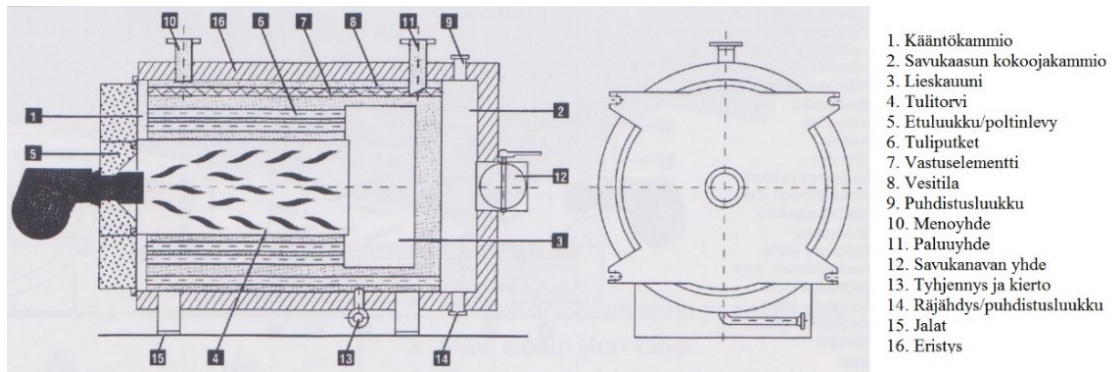
Rakennusten ja käyttöveden lämmittämiseen sekä teollisuuden prosesseihin tarvittavan lämmön keskitettyä tuotantoa ja jakelua laajalle alueelle esilämmitetyn veden avulla kutsutaan kaukolämmitykseksi. Kaukolämpöverkkoja voidaan käyttää myös kiinteistöjen jäähdyttämiseen, jolloin puhutaan kaukojäähdytyksestä. Kaukolämmitys ja kaukojäähdytys muodostavat yhdessä kaukoenergia-alan. (VTT Energia 1999) Kaukolämpöverkolla tarkoitetaan jakelu- ja koontiputkistoa, joka kulkee voimalaitoksen lämmönvaihtimelta asuntojen, tehtaiden, liiketilojen tai muiden rakennusten lämmönvaihtimelle (Airila et al. 1995). Kiinteistön energiankulutusmittari on yleensä kaukolämpöä toimittavan energia-yhtiön toimitusraja. Tässä kohdassa on usein sulkuventtiili, jotta pystytään erottamaan kuluttaja kaukolämpöverkosta. (VTT Energia 1999) Kaukolämpö on etenkin kaupungeissa ja taajamissa suosittu lämmitysmuoto (Halme et al. 2015).

2.1 Toimintaperiaate

Kaukolämpöverkko koostuu suljetusta kaksiputkisesta verkosta, jossa lämpö siirretään kuluttajalle kuuman veden välityksellä. Kuitenkin muun muassa Pohjois-Amerikassa väliaineena lämmön siirtämiseen kuluttajalle käytetään kuumaa höyryä. Menoputkeksi kutsutaan voimalaitokselta kuluttajan lämmönjakokeskukseen kulkevaa putkea, jossa kulkee kuumaa vettä. Lämmönjakokeskuksessa kuumasta vedestä otetaan lämmönvaihtimen avulla talteen lämpöä käytettäväksi kiinteistön huoneilman tai käyttöveden lämmittämiseen. Lämmönvaihtimelta jäähtynyt vesi palaa kaukolämpöverkon paluuputkessa takaisin voimalaitokselle uudelleen lämmitettäväksi. (Koskelainen et al. 2006)

2.1.1 Tuotanto

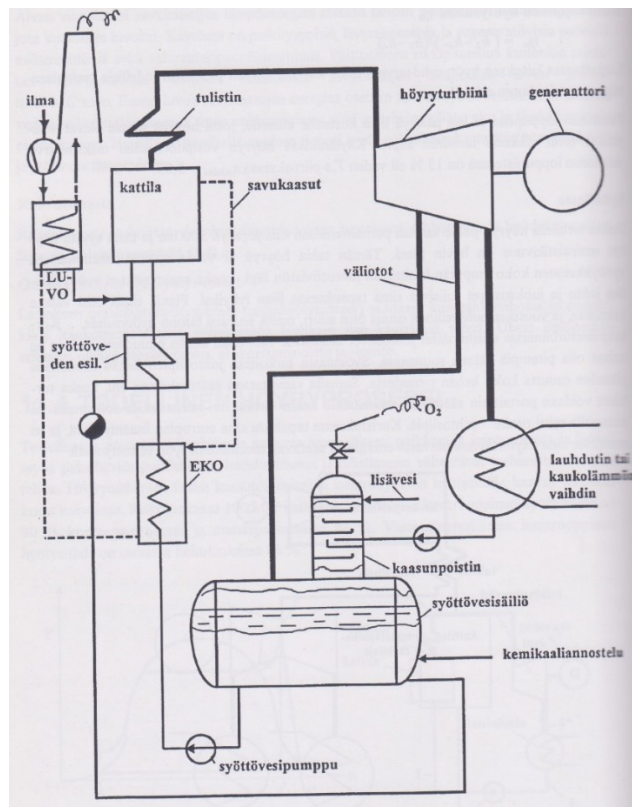
Kaukolämpöä voidaan tuottaa eri tavoilla eri prosesseja hyödyntävissä voimalaitoksissa. Pelkästään lämpöä kaukolämpöverkkoon tuottamaan käytetään kattilavoimalaitoksia. (Perttula 2000) Lämpökeskuskattilassa kaukolämpövesi voidaan lämmittää polttoaineen avulla tulipintojen läpi (VTT Energia 1999). Kuvassa 2 on esitetty erään valmistajan käyttämän lämminvesikattilan rakenne. Toisaalta teollisuuslaitoksissa, joissa tarvitaan kylmäistä höyryä, voidaan kiinteistön lämmitysenergia tuottaa samalla höyrykattilalla kuin kylläinen höyry. Tämän menetelmän käyttö on kuitenkin harvinaistunut. (Perttula 2000) Kattilavoimalaitoksissa lämpötilan pito säädetään kattilan polttimeen käyntiajan avulla (VTT Energia 1999).



Kuva 2. Aku-lämminvesikattilan rakenne (Perttula 2000).

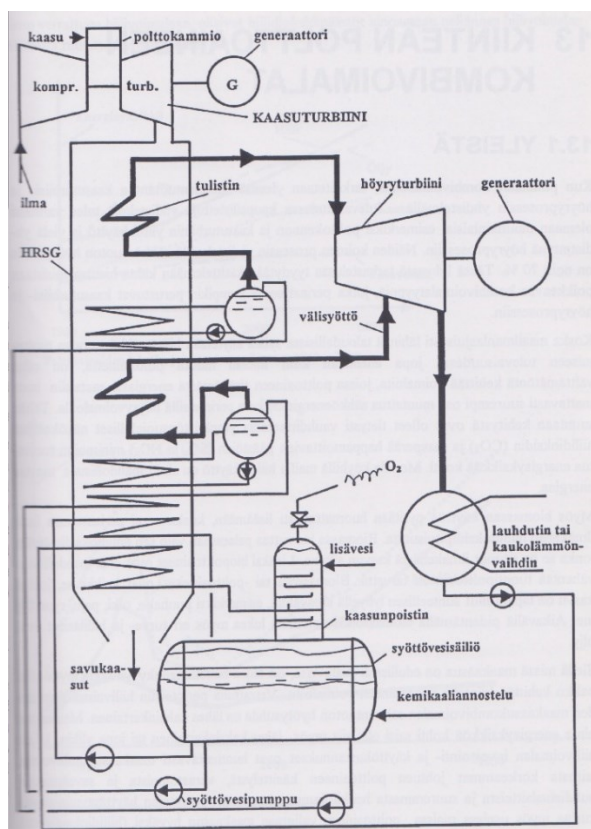
Toisen voimalaitosryhmän muodostavat höyryvoimalaitokset. Höyryvoimalaitoksia on kahdenlaisia, vastapainevoimalaitoksia ja lauhdevoimalaitoksia. (Perttula 2000) Lauhdevoimalaitokset tuottavat pelkkää sähköä tulistetun höyryn avulla ja ylijäänyt polttoaineenergia poistuu sekä jäähdytysveden mukana jätelämpönä että myös kattilan savukaasuina (VTT Energia 1999).

Vastapainevoimalaitoksia kutsutaan myös kaukolämpövoimalaitoksiksi tai lämmitysvoimalaitoksiksi ja ne tuottavat sekä sähköä että lämpöä. Vastapainevoimalaitoksissa energiaa ei poisteta jätelämpönä, vaan vastapaineturbiinin höyryn lämpöenergiaa voidaan käyttää lämmönvaihtimien välityksellä kaukolämpöverkon veden lämmittämiseen. (Perttula 2000) Höyryvoimalaitoksen yksinkertaistettu periaatekaavio on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Periaatekaavio höyryvoimalaitosprosessista (Perttula 2000).

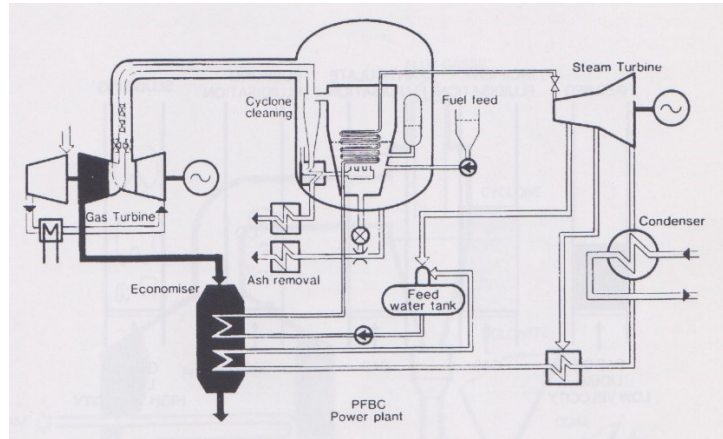
Seuraavan voimalaitosryhmän muodostavat kombivoimalaitokset. Voimalaitosta, joka yhdistää kaasuturbiini- ja höyryprosessit kutsutaan kombivoimalaitokseksi. Maakaasukombivoimalaitoksissa käytetään kaasuturbiinia höyryturbiinin sijaan, mutta muuten toimintaperiaate on lähes vastaava kuin lauhdevoimalaitoksissa. Kaasuturbiinin savukaasujen lämpötila on turbiinin jälkeen niin korkea, että savukaasuista voidaan lämmönvaihtimien avulla tehdä höyryä höyryturbiinia varten ja näin maksimoida sähköntuotanto ja hyötysuhde. Tällöin päästään lähes samaan hyötysuhteeseen kuin hiililauhdevoimalaitoksissa. Toisaalta kaasuturbiinin jälkeisestä savukaasusta saatava energia voidaan käyttää myös lämmöntuotantoon sähköntuotannon sijaan, jolloin toiminta muistuttaa vastapainevoimalaitosta. (Perttula 2000) Maakaasukombivoimalaitoksen prosessin periaatekaavio on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Maakaasukombivoimalaitoksen prosessin periaatekaavio (Perttula 2000).

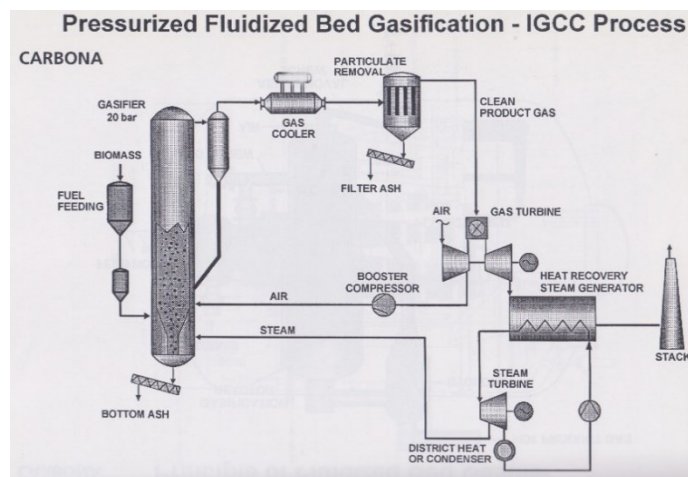
Maakaasukombivoimalaitosten lisäksi on olemassa myös muunlaisia kombivoimalaitoksia, PFBC-voimalaitoksia (Pressurized Fluidized Bed Combustion) ja kaasutuskombivoimalaitoksia. PFBC-voimalaitos muistuttaa rakenteeltaan maakaasukombivoimalaitosta, mutta suurin ero on polttokammion rakenteessa. Polttokammiossa poltetaan kiinteää polttoainetta leijupedissä ja lisätään siihen dolomiittia sitomaan hiilessä olevaa rikkiä. Polttokammiota kutsutaan myös korkeapainekattilaksi, sillä leijutus saadaan aikaan kaasuturbiinin kompressorin ilmalla. Kattilassa sijaitsevien lämmönvaihtimien ja tulistimen

avulla osa energiasta siirretään höyryprosessiin. (Perttula 2000) Kuvassa 5 on kuvattu ABB:n PFBC-voimalaitoksen prosessin periaatekaavio.



Kuva 5. ABB:n PFBC-voimalaitoksen prosessin periaatekaavio (Perttula 2000).

Kaasutuskombivoimalaitokset eli IGCC-voimalaitokset (Integrated Gasification Combined Cycle) ovat myös hyvin samanlaisia rakenteeltaan kuin maakaasukombivoimalaitokset. Erona on, että laitoksessa tarvitaan kiinteän polttoaineen kaasuttamiseksi korkeassa paineessa ja lämpötilassa erillinen kaasutin. Kiinteän polttoaineen osittaisella poltolla saavutetaan kaasutukseen vaadittava lämpöenergia ja tuotettu kaasu ohjataan kaasuturbiiniin sekä savukaasut lämmöntalteenottokattilaan. Kaasutukseen voidaan käyttää ilmaa tai happea. (Perttula 2000) Kuvassa 6 on esitetty IGCC-voimalaitoksen periaatteellinen prosessikaavio.



Kuva 6. Carbonan IGCC-voimalaitoksen periaatteellinen prosessikaavio (Perttula 2000).

Jotta polttoaineen energiasisältö saadaan hyödynnettyä tehokkaasti, tuotetaan useissa voimalaitoksissa sekä lämpöä että sähköä. Tätä toimintatapaa kutsutaan CHP:ksi (Combined Heat and Power). (Halme et al. 2015) Esimerkiksi vastapainevoimalaitos on CHP-laitos.

Yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto on taloudellisempaa kuin pelkän sähkön tai lämmön tuotanto johtuen korkeasta hyötysuhteesta. Lauhdevoimalaitoksen hyötysuhde on 40 % ja yhdistetyssä sähkön- ja lämmöntuotannossa samasta polttoainemäärästä saadaan 25 - 30 % sähköä ja 55 - 60 % lämpöä kaukolämpöverkkoon. Taloudellisuus perustuu suureen ja tasaiseen lämpökuormaan, sillä vastapainevoimalaitoksissa voidaan käyttää vastapaineturbiinin lisäksi lauhdeturbiinia sähkön tuottamiseksi myös matalan lämpökuorman aikana. Suomessa suurin sähkön ja lämmön tarve on talvisin, joten vastapainevoimalaitokset soveltuvat hyvin Suomen olosuhteisiin. (VTT Energia 1999)

Eräs kaukoenergian sovellus on kaukojäähdytys. Kaukojäähdytystä on mahdollista tuottaa muun muassa meri- tai järviveden avulla, lämpöpumpulla, kompressoreiden avulla tai absorptiojäähdyttimien avulla. Jäähdytysenergia siirretään kaukojäähdytysverkossa kylmän veden avulla kuten kaukolämpöverkoissaakin. (Koskelainen et al. 2006)

2.1.2 Siirto- ja jakeluverkko

Kaukolämpöverkon meno- ja paluuputket ovat samankokoiset ja muodostavat yhdessä kokonaisuuden, jota kutsutaan kaukolämpöverkoksi (Koskelainen et al. 2006). Kaukolämpöverkot ovat usein silmukoituja, jotta on mahdollista varmistaa kuluttajien lämmön saanti vikatilanteissa ohjaamalla syöttö toisesta suunnasta (VTT Energia 1999). Kaukolämpöverkossa kiertävästä vedestä poistetaan mekaaniset epäpuhtaudet, happi ja muut kaasut korroosion ja putkien tukkeutumisen välttämiseksi (Koskelainen et al. 2006).

Syöttöpumppujen avulla kaukolämpöverkkoon pumpataan lisävettä, jolloin paine verkossa pysyy halutulla tasolla. Paineen on pysyttävä niin korkealla, ettei vesi höyrysty verkossa. Yleisimmin käytetty verkon rakennepaine Suomessa on 16 bar, jolloin putkiston painetaso on 10 - 12 baria turvamarginaalin saavuttamiseksi rakennepaineeseen nähden. Painehäviösuositus kaukolämpöverkossa on 1 bar/km. Pumppauksen avulla säädetään lisäksi kaukolämpöverkoissa kiertävän veden massavirtaa ja siten vaikutetaan verkon siirtokykyyn. (VTT Energia 1999)

Kaukolämpöverkon menoveden lämpötila on noin 70 - 115 °C riippuen ulkoilman lämpötilasta (Värjä & Mikkola 2012), kun taas paluueden lämpötila on 40 - 50 °C riippuen vuodenajasta ja vuorokauden ajasta. Myös menoveden lämpötila vaikuttaa verkon siirtokykyyn; mitä enemmän vettä jäähdytetään kuluttajilla, sitä suurempi on verkon siirtokyky. (VTT Energia 1999) Jotta minimoidaan lämpöhäviöt, menoveden lämpötilaa säädetään voimalaitoksen päässä ulkolämpötilan mukaan vastaamaan kuluttajien tarpeita. Alhaisten siirtolämpötilojen käyttö kaukolämpöverkoissa lisää voimalaitoksen tuotantokapasiteettia ja on siten edullisempaa. (Koskelainen et al. 2006)

Suomessa suurin osa kaukolämpöputkistoista on kiinnivaahdotettuja, eli virtausputki ja polyuretaanisuojakuori on kiinnitetty toisiinsa polyuretaanieristeellä. Kiinnivaahdotetun

putkirakenteen mahdollisia rakenteita ovat yksiputkinen ja kaksiputkinen rakenne. Yksiputkisessa rakenteessa meno- ja paluuputket ovat erikseen, kun taas kaksiputkisessa rakenteessa meno- ja paluuputket ovat saman eristeen sisällä. Tällöin menoputki sijoitetaan alimmaiseksi lämpöhäviöiden vähentämiseksi. (Koskelainen et al. 2006)

Kuluttajan lämmönjakokeskuksessa lämmitysenergia siirretään lämmönvaihtimien avulla kuluttajan omiin lämmitysjärjestelmiin. Lämmitysjärjestelmät ovat kaukolämpöverkosta erillisiä nestekiertoja, kuten esimerkiksi käyttövesi, kiinteistön huoneilman lämmitysverkko tai ilmanvaihtokoneistot. Kuluttajan laitteistossa käytetään säätöventtiilejä säättämään lämmönsiirtimen läpi virtaavan nesteen määrää ja siten järjestelmän tehontarvetta. Säätöventtiiliä ohjataan yleensä automaattisesti. Mikäli järjestelmässä ei ole lämmönvaraajaa, kuluttajan laitteiston säätötoimenpiteet ja niistä seuraavat kulutusvaihtelut heijastuvat suoraan myös kaukolämpöverkkoon. (Koskelainen et al. 2006)

Kaukojäähdytysjärjestelmissä, kaukolämpöveden lämpötilalla 80 °C, yksivaiheisen absorptiojäähdyttimen aiheuttama lämpötila-alenema on vain 10 - 15 °C. Mikäli kaukolämmön taloliittymäputki on mitoitettu liittymistehon perusteella, muodostuu kyseinen putki usein pullonkaulaksi riittävän jäähdytystehon saavuttamiseksi. Toisaalta jos käytetään kaksivaiheista jäähdytintä, lämpötila-alenema eli jäähdytyskyky on 25 °C, mikä on useimmiten riittävä jäähdytysteho. Absorptiotekniikalla toteutetun jäähdytyksen tavoite-taso on asetettu samaan kuin kaukolämpötoiminnassakin, eli 50 - 70 °C lämpötila-alenema. (VTT Energia 1999)

2.2 Kaukolämpö Suomessa

Suomessa ensimmäisen kaukolämpöverkon rakentaminen alkoi Helsingissä 50-luvun loppupuolella (VTT Energia 1999). Kaukolämmön kulutus on kasvanut Suomessa tasaisesti aina 2000-luvun alkupuolelle asti, minkä jälkeen kulutuksen kasvu on laantunut. Yksi syy kasvun laantumiseen on rakennusten ominaiskulutuksen aleneminen energiansäästötoimenpiteiden seurauksena. Suomessa kaukolämpöjärjestelmät ovat enimmäkseen julkisessa omistuksessa, mutta yksityistäminen on yleistymässä. (Koskelainen et al. 2006)

Lämmitys on suurin asumisen energiankuluttaja Suomessa (Halme et al. 2015). Kuten taulukosta 1 nähdään, asuntojen ja käyttöveden lämmitykseen kuluu yhteensä noin 85 prosenttia asuntojen energiankulutuksesta.

Taulukko 1. Asumisen energiankulutusmuodot Suomessa (Halme et al. 2015).

Energiankulutusmuoto	Energiankulutus (TWh)	Osuus energiankulutuksesta (%)
Lämmitys	48	74
Käyttöveden lämmitys	7,3	11
Valaistus ja sähkölaitteet	10	15

Kaukolämpö on yleisin Suomessa käytetty lämmitysmuoto, kuten voidaan nähdä taulukosta 2. Taulukkoon on huomioitu kaikki asumiskäytössä olevat rakennukset, kerros- ja rivitalot sekä muut pientalot. Suomessa suurin osa asukkaista asuu kuitenkin omakoti- tai rivitaloissa ja niissä lämmitysmuotojen jakauma on hyvin erilainen verrattuna taulukkoon 2, sillä kaukolämmityksen osuus on vain 7 % kokonaisenergiankulutuksesta. (Halme et al. 2015)

Taulukko 2. Vuoden 2013 asumusten lämmitykseen kulutettu energia Suomessa (Halme et al. 2015).

Lämmön lähde	Energiankulutus (TWh)	Osuus (%)
Kaukolämpö	18,3	33
Puu	14,5	26
Sähkö	13,2	24
Kevyt polttoöljy	4,36	8
Lämpöpumput	4,26	8
Maakaasu	0,34	1
Yhteensä	55,1	100

Sähkölämmitys on yleisin omakoti- ja rivitaloissa käytetty lämmitysmuoto, sen osuus kokonaisenergiankulutuksesta on 44 %. Sähkölämmityksen johtava asema pientalojen lämmityksessä johtuu muun muassa sähkölämmityksen edullisista investointikustannuksista verrattuna kaukolämmitykseen. (Halme et al. 2015)

Hiilen käyttö kattilalaitoksissa on harvinaistunut Suomessa (Perttula 2000). Kivihiilen hinta on kuitenkin alentunut viime vuosina, mikä on johtanut sen käytön lisääntymiseen voimalaitoksissa. Sen käytössä on kuitenkin haittapuolensa, sillä se on hiilidioksidipäästöjensä vuoksi yksi huonoimmista polttoainevaihtoehtoista. (Halme et al. 2015) Maakaasun osuus kaukolämpöenergian polttoaineena on kasvanut Suomessa 2000-luvulla (Koskelainen et al. 2006).

Puuhake, turve ja kivihiili ovat yleisimmät Suomessa käytetyt polttoaineet kaukolämmön tuotannossa. Puulla on suuri osuus uusiutuvana paikallisena lämmönlähteenä Suomessa ja kaukolämmön tuottamiseen kuluu suuri osa Suomen puuvarastoista. Kotimaisten polttoaineiden, turpeen ja hakkeen, käytön haittapuolena on niiden huono energiatehokkuus; hyötyenergiaa saadaan vain noin 30 prosentista kuormasta. Tämä huonontaa niiden kuljettamisen kannattavuutta, minkä vuoksi ne eivät sovellu käytettäväksi kaupungeissa. Turve ja hake ovat kuitenkin kotimaisia ja työllistävät väkeä kotimaassa. Jotta pystytään vähentämään korroosio-ongelmia hakkeen polton yhteydessä, lisätään polttoaineeseen turvetta. Turpeen päästökerroin on jopa huonompi kuin kivihiilen, joten sen käyttöä pääenergiälähteenä ei toivota. (Halme et al. 2015) Noin 3/4 - 4/5 vuosittaisesta kaukolämpöenergiasta tuotetaan Suomessa yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa, minkä

vuoksi Suomi lukeutuu yhdeksi maailman johtavista yhdistetyn sähkön ja lämmön tuottajaksi. (Koskelainen et al. 2006)

2.3 Kaukolämmityksen tulevaisuus

Tulevaisuuden tekniset tavoitteet kaukolämmityksessä keskittyvät lämmönsiirto- ja jakeluverkkoon ja jäähdytykseen. Verkon siirtokyvyn parantamiseksi nykyinen kaukolämpöverkon menoveden lämpötila 115 °C pyritään pudottamaan 90 - 100 °C. Verkon paluulämpötilan tavoitearvo voisi olla 30 - 35 °C, kun se nykyisellään on noin 40 - 50 °C. Joissakin kaukolämpöjärjestelmän osissa lämpötila-alenema kulutuspisteessä on 70 °C, joka on todennäköisesti tavoitteena kaukolämpöjärjestelmissä nykyisen 50 °C lämpötila-aleneman sijaan. (Koskelainen et al. 2006)

Kaukolämpöveden virtauskitkan vähentämiseksi voidaan käyttää tensidejä, kuten natriumsalisylaattia, happea sitovien lisäaineiden ohella. Tensidit nostavat laminaarisen virtauksen nopeusrajaa ja alentavat nesteen pintajännitystä putkimateriaalin ja virtauksen välisen kitkan vähentämisen lisäksi. Lisäksi lämmönsiirto-ominaisuuksia parantavia lisäaineita on kehitteillä. (Koskelainen et al. 2006)

Alle 10 barin painetasolla kaukolämpöverkossa teräsputkia saatetaan korvata muovi- ja komposiittimateriaaleilla. Tämä ei kuitenkaan ole mahdollista yli 10 barin painetasolla, sillä sopivia painetta kestäviä materiaaleja ei ole markkinoilla. Eriste ja suojakuori on mahdollista yhdistää taipuisiin putkiin jo putken valmistusvaiheessa. Putken jatkoskohdat vähenevät, kun kaukolämpöputkea levitetään kaivantoon putkirullalta ja peitetään samalla kertaa. (Koskelainen et al. 2006)

Kaksiputkiset järjestelmät ovat yleistymässä alhaisempien lämpöhäviöiden ja suppeamman maapinta-alan tarpeen vuoksi. Lisäksi ympäristöystävällisempien eristemateriaalien, kuten PET-kierrätysmuovin, käyttö on kehityksen kohteena. Ilmaa ja piipulveria on testattu matalassa paineessa eristemateriaalina. Kaukolämpöputkistot voidaan sijoittaa liikenne- ja jalankulkualueille sulana pitoa varten. (Koskelainen et al. 2006)

Absorptiotekniikan avulla on mahdollista integroida kaukojäähdytys osaksi kaukolämpöjärjestelmää, jolloin parannetaan järjestelmän kokonaiskannattavuutta (Koskelainen et al. 2006). Absorptiojäähdyttimen energialähteenä toimii kaukolämpö ja se voi olla keskitetty alueellinen yksikkö tai hajautettu yksikkö, joka on yhdistetty kiinteistön lämmönjakokeskukseen. Edellytyksenä aluejäähdytykselle on, että luodaan siirto- ja jakeluverkko, johon kiinteistöjen jäähdytysjärjestelmät liitetään. Siirtoaineena jäähdytysjärjestelmissä käytetään jäähilevettä tai vesi-glykoliliuosta. Toisin kuin kompressorijärjestelmissä, absorptiojäähdyttimissä ei käytetä HCFC-yhdisteitä. HCFC-yhdisteet ovat kylmäaineina käytettyjä yhdisteitä ja sisältävät vetyä, hiiltä, fluoria ja klooria. (VTT Energia 1999)

Energiamarkkinoiden vapautuessa kilpailu energiamuotojen välillä tiivistyy. Energian säästötoimenpiteiden seurauksena lämmön kokonaiskulutus laskee, jolloin myös kaukolämmön tuotanto vähenee. Ympäristösyistä on kuitenkin etsitty keinoja sähkön- ja lämmön yhteistuotannon lisäämiseen ja uusiutuvan energian kasvuun, jolloin kaukolämmöllä on keskeinen rooli kehityksessä. (Koskelainen et al. 2006)

Joissakin maissa tehty päätös ydinvoimasta luopumisesta sekä pyrkimykset vähentää hiilidioksidipäästöjä ja parantaa energiatehokkuutta johtavat tarpeeseen lisätä sähkön tuotannon kapasiteettia. Tämä tarve kohdistuu etenkin sähkön ja lämmön yhteistuotantoon ja tarve on niin suuri, että on otettava käyttöön kaikki yhteistuotantoon soveltuvat lämpökuormat. Myös ilmasto-ongelmat johtavat kaukolämmön lisäämiseen, sillä vaikka tällä hetkellä päästörajoitukset kohdistuvat vain suuriin kohteisiin, on odotettavissa että myös matalatehoisemmat hajautetut kohteet tulevat säännösten piiriin ennemmin tai myöhemmin. Energiatehokkuuden kasvattamiseksi ja päästöjen alentamiseksi energian tuotanto myös usein integroidaan jätevirtojen ja teollisuuden energiatarpeiden kanssa. (Koskelainen et al. 2006)

Kaukolämpöjärjestelmien automaatio on yksi keino, jonka avulla voidaan saavuttaa edellä mainittuja tavoitteita. Eräänä osana kaukolämpöjärjestelmien automaatiota voidaan pitää erilaisia energianhallintajärjestelmiä. Edellä mainitut yhdistettynä uusiin tiedonsiirto- ja mittausteknologioihin tuovat järjestelmille parempaa käyttövarmuutta ja taloudellisuutta vähäisempien lämpö- ja painehäviöiden myötä. (Koskelainen et al. 2006) Edellä mainituista syistä tässä työssä tutkitaan tarpeita automaation lisäämiselle kaukolämpöverkon ohjaukseen ja kunnonvalvontaan.

3 VENTTIILIT KAUKOLÄMPÖVERKOSSA

Kaukolämmön siirto- ja jakeluverkoissa käytetään monenlaisia venttiilejä esimerkiksi liitos-, muutos- ja korjaustöiden sekä aluejako- ja säätötoimintojen suorittamiseksi (Lassila et al. 2010). Venttiilit voidaan jakaa karkeasti sulk- ja säätöventtiileihin. Sulkuventtiilit voidaan edelleen jakaa toiminnallisuutensa osalta pääsulkuventtiileihin, ohitusventtiileihin, tyhjennysventtiileihin, ilmanpoistoveniileihin ja kertasulkuventtiileihin. Pääsulkuventtiilien avulla kaukolämpöverkko pystytään jakamaan osiin ja erottamaan verkosta haluttu osuus. Ohitus-, tyhjennys- ja ilmanpoistoveniilejä käytetään putkiston tyhjennykseen ja täyttöön. Kertasulkuventtiilejä taas käytetään putkistoissa, mikäli on tiedossa, että putkistoa tullaan tulevaisuudessa jatkamaan. (Lassila et al. 2010)

3.1 Venttiilirakennetyypit

Vexve Oy (myöhemmin Vexve) valmistaa pallo- ja läppäventtiilejä kaukoenergiasoveluksiin sekä muihin teollisuuden prosesseihin, ja on omalla alallaan maailman johtava yritys (Vexve Oy 2017c). Tässä työssä perehdytään etenkin pääsulkuventtiileihin kaukolämpöverkoissa. Tyypillisimpiä pääsulkuventtiilien rakennetyyppejä kaukolämpöverkoissa ovat pallo- ja läppäventtiilit (Lassila et al. 2010), joita myös Vexve valmistaa. Vexven valmistamia palloventtiilejä voidaan käyttää pääsulku toiminnon lisäksi myös muiden edellisessä kappaleessa mainittujen toiminnallisuuksien täyttämiseksi. (Vexve Oy 2017c)

Minkä tahansa venttiilin ollessa puoliksi auki, sulkuelimen takana alueella, jossa väliaikainen virtausnopeus kasvaa, paine putoaa ja saavuttaa nesteen kiehumispisteen. Neste alkaa kiehua ja muodostaa ilmakuplia epäpuhtauksien ja kaasukuplien ympärille. Kun paine nousee jälleen, ilmakuplat hajoavat äkillisesti tai jopa räjähdysmäisesti. Tätä kutsutaan venttiilin kavitaatioksi. Kavitaatiota saattaa syntyä esimerkiksi venttiilin jatkuvan säätämisen seurauksena. (Smith & Zappe 2004)

Kavitaation aiheuttama räjähdysmäinen paineen nousu voi aiheuttaa putkiston tai venttiilin hajoamisen, mikäli paine nousee rakenteiden vetolujuuden tasolle. Kavitaatiota voidaan välttää mitoittamalla venttiili pienemmäksi kuin putkisto, jolloin säätö tapahtuu kapealla alueella lähellä asentoa, jossa sulkuelin on puoliksi auki. Toinen tapa välttää kavitaatiota on käyttää useampia venttiilejä peräkkäin, jolloin paine putoaa asteittain. (Smith & Zappe 2004)

Venttiileissä saattaa ilmetä myös paineiskuja. Venttiilin nopean sulkemisen yhteydessä nesteen liike-energia muuttuu ja muuttaa siten myös putkiston painetta. Tämä paineen

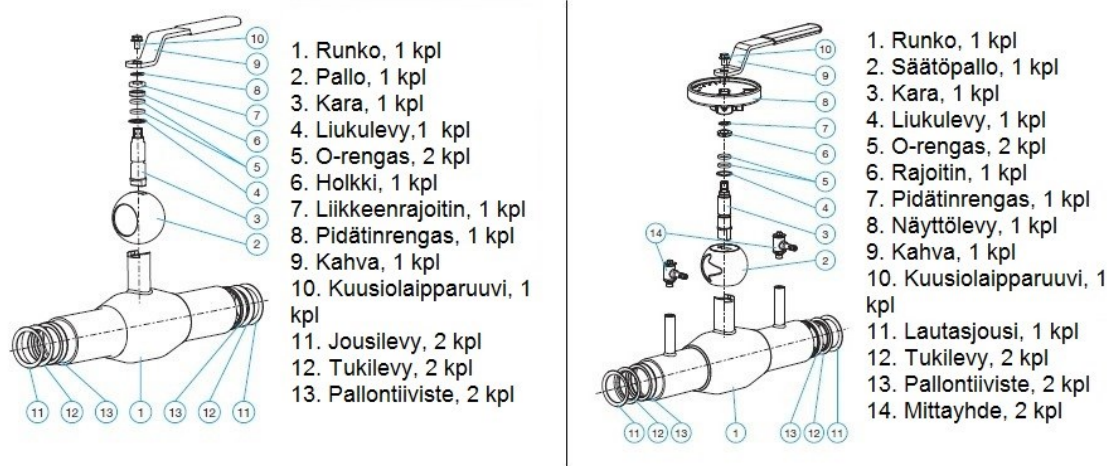
muutos saattaa aiheuttaa putkiston tärinää ja ääntä, joka kuulostaa kuin vasaran iskuilta. Paineiskuja voidaan välttää sulkemalla venttiili hitaasti. (Smith & Zappe 2004)

3.1.1 Palloventtiili

Palloventtiilejä käytetään pääasiassa sulkuventtiileinä, mutta niitä voidaan käyttää myös säätöventtiileinä (Airila et al. 1995). Vexven palloventtiilien tuotemerkkejä ovat Vexve ja Naval ja ne on tarkoitettu kaukoenergiaverkkoihin sulkuventtiileiksi. Vexven palloventtiilit voidaan jakaa karkeasti sulku- ja linjasäätöventtiileihin. Linjasäätöventtiilejä käytetään rakennusten lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien tasapainottamiseen. Linjasäätöventtiilien avulla järjestelmien virtausta on mahdollista säätää, mutta säätö tehdään kuitenkin vain yhden kerran asennuksen jälkeen käyttöönoton yhteydessä. (Vexve Oy 2017c)

Venttiilin nimelliskoon määrittelee DN-koko, joka kertoo venttiilin sisähalkaisijan likimääräisen suuruuden millimetreinä. Käytettävä standardoimisjärjestelmä määrää venttiilin todellisen sisähalkaisijan suuruuden. Euroopassa yleisin käytetty järjestelmä on ISO (International Organization for Standardization). (Airila et al. 1995) Vexven valmistamien palloventtiilien DN-koot vaihtelevat välillä 10 – 800 mm (Vexve Oy 2017c). Venttiilejä on standardoitu myös paineenkeston suhteen. Paineenkeston kertova suure on nimellispaine PN, jonka yksikkö on baari (bar). (Airila et al. 1995) Vexven valmistamien ja yleisimpien kaukolämpöverkoissa käytettyjen muidenkin valmistajien venttiilien paineluokat ovat PN16, PN25 tai PN40 (Vexve Oy 2017c).

Sulkuelimenä palloventtiileissä on reiän lävistämä pallo. Palloventtiilin sulkeminen ja avaaminen tapahtuu kiertämällä palloa noin 90° akselin ympäri. (Airila et al. 1995) Pallon läpi väliaine pystyy kulkemaan ilman suuria virtausvastuksia (Smith & Zappe 2004). Pallon virtausaukon muoto vaikuttaa venttiilin säätöominaisuuksiin (Vexve Oy 2017a). Tästä syystä Vexven linjasäätö- ja sulkupalloventtiilien palloissa on erimuotoiset virtausaukot, kuten voidaan nähdä kuvasta 7.

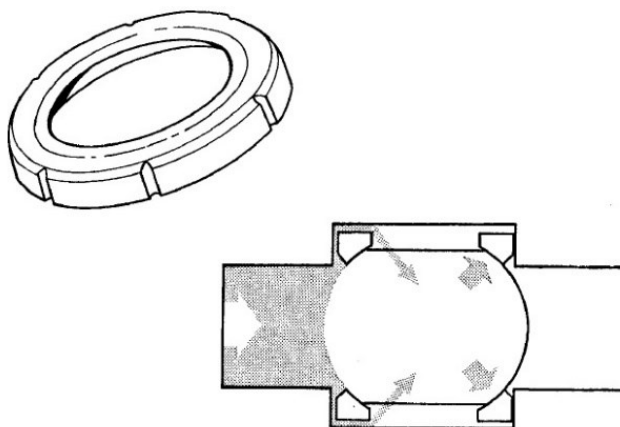


Kuva 7. Vexven palloventtiilien rakenteet. Vasemmalla sulkupalloventtiili (Vexve Oy 2017b) ja oikealla linjasäätöventtiili (Vexve Oy 2017a).

Palloventtiilejä on olemassa supistettu- ja täysaukkoisia. Supistettuaukkoisissa palloventtiileissä sulkuelimen virtausaukon halkaisija on yleensä noin kolme neljäsosaa venttiilin nimelliskoosta, kun taas täysaukkoisissa venttiileissä virtausaukon halkaisija on sama kuin venttiilin nimelliskoko. Täysaukkoisissa palloventtiileissä painehäviö venttiilin yli on vähäisempi, mutta rakenne on kalliimpi. Kustannussyistä päädytäänkin usein supistettuaukkoiseen ratkaisuun. Täysaukkoisia venttiilejä käytetään kuitenkin esimerkiksi silloin, kun putkiston pitää olla tasainen eli putkiston halkaisija ei saa muuttua. (Smith & Zappe 2004) Vexve valmistaa molempia, supistettu- ja täysaukkoisia palloventtiilejä (Vexve Oy 2017c).

Palloventtiilin tiiviys perustuu rengastiivistisiin, jotka ovat yhdenmukaisia pallonmuotoisen sulkuelimen kanssa sen molemmin puolin. Yleensä käytetään pehmeää pallon pintaan mukautuvaa tiivistemateriaalia, jolloin palloventtiilin tiiveysominaisuudet ovat erinomaiset. Lisäksi palloventtiilin virtausarvot ovat erinomaiset, sillä pyöreä sulkuelin liukuu rengastiivistettä vasten ja painehäviö jakaantuu kahden tiivistyspinnan välille eli pallon molemmin puolin. (Smith & Zappe 2004)

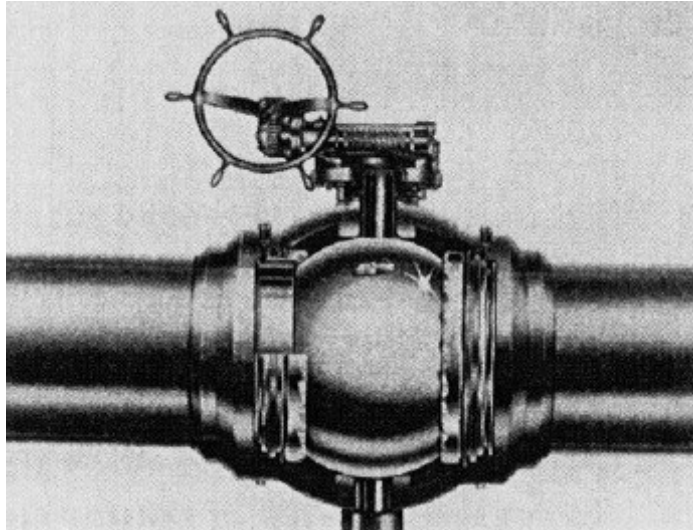
Palloventtiileillä on kaksi erilaista sulkuelinrakennetta, laakeroitu ja kelluva pallo. Kelluvassa rakenteessa sulkuelin, eli pallo, ei ole kiinnitetty venttiilin runkoon, mutta tiivisteet ovat. (Smith & Zappe 2004) Lisäksi pallo ja sitä liikuttava kara kytkeytyvät toisiinsa vain pallon yläosassa, kuten edellä kuvassa 7 (Vexve Oy 2017b). Kelluvassa rakenteessa sulkuelin painautuu tiivisterakennetta vasten paineen kasvaessa. Yleisin palloventtiilien kelluvan rakenteen tiivisterakenne koostuu O-renkaasta ja pidätinrenkaasta, jonka pinnassa on koloja, kuten kuvassa 8. (Smith & Zappe 2004)



Kuva 8. Periaatteellinen kelluvan palloventtiilin tiivisterakenne (Smith & Zappe 2004).

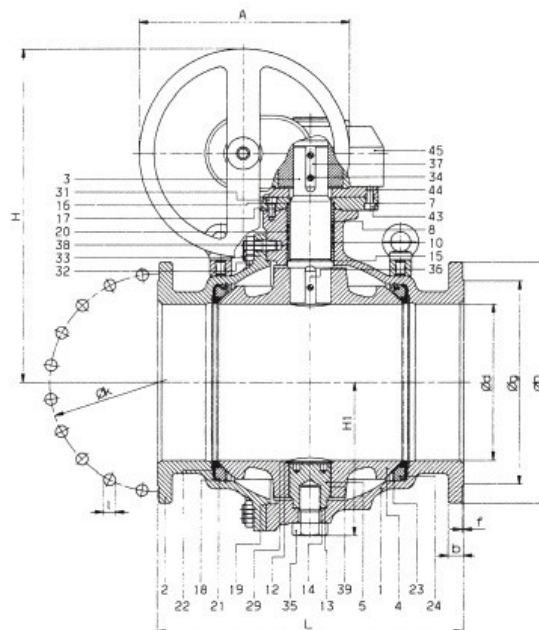
Pidätinrenkas muuttaa muotoaan paineen johdosta, jolloin O-rengas jännittyy ja tiivistyy vasten sulkuelintä. Koska tiivisteellä on tällöin myös jousimaisia ominaisuuksia, venttiilillä on hyvät tiiveysominaisuudet. Pidätinrenkaan koloja kutsutaan paineentasaajiksi, sillä niiden kautta venttiilin tulopuolen tiivisterakenne päästää painetta sulkuelimen ja venttiilin rungon väliin, jolloin paine tiivisterenkaan yli tasoittuu. (Smith & Zappe 2004) Kyseinen paineentasaus on esitetty nuolien avulla kuvassa 8. Venttiilin suurin sallittu käyttöpaine määritellään siten, että venttiilin lähtöpuolen tiivisterengas kestää virtauksen paineen aiheuttaman rasituksen ilman pysyviä muodonmuutoksia venttiilin käyttölämpötilassa (Smith & Zappe 2004).

Laakeroidun palloventtiilin sulkuelinrakenteessa pallo ja kara kiinnittyvät toisiinsa pallon molemmin puolin liukulaakereilla, kuten kuvassa 9. Kuvassa 10 on esitetty toinen vaihtoehtoinen laakeroidun palloventtiilin rakenne, jossa pallo ja kara eivät kiinnity toisiinsa liukulaakerein, vaan kara tulee pallossa oleviin uriin ja liukulaakerit sijaitsevat karan ja karaholkin välissä. Lisäksi laakeroidussa rakenteessa tiivisterenkaat painautuvat sulkuelintä vasten paineen kasvaessa päinvastoin kuin kelluvassa rakenteessa. Tiivisterenkaat siis kelluvat ja sulkuelin on laakeroitu paikalleen. Tiiviiden saavuttamiseksi tarvitaan erillinen jousi luomaan tiivisteelle esipaine, joka painaa sitä sulkuelintä vasten. (Smith & Zappe 2004) Laakeroidun palloventtiilin tiivisterakenne on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9. Periaatteellinen laakeroidun palloventtiilin tiivisterakenne (Smith & Zappe 2004).

Laakeroidun palloventtiilin rakenne on monimutkaisempi kuin kelluvan, sillä osia tarvitaan enemmän halutun tiiviyden saavuttamiseksi. Tästä syystä kelluvaa rakennetta käytetään kevyissä venttiileissä. Laakeroitua rakennetta käytetään suuremmissa palloventtiileissä, sillä sulkuelimen painon kasvaessa tarvitaan enemmän tukea. (Smith & Zappe 2004) Vexve käyttää kokoon DN500 asti kelluvaa pallorakennetta ja kokoluokissa DN600 - DN800 laakeroitua pallorakennetta (Vexve Oy 2017b). Kuvassa 10 on esitetty toisen kaukolämpöventtiilivalmistajan Klingerin laakeroidun palloventtiilin halkileikkauskuva, josta näkyy laakeroitu palloventtiilirakenne.



Kuva 10. Klingerin palloventtiili laakeroidulla rakenteella (Klinger Finland Oy 2016).

Mikäli palloventtiili jätetään osittain auki pitkäksi ajaksi, rengastiiviste voi liukua pallon virtausaukon reunan yli lukiten pallon asentoonsa. Tästä syystä manuaalisesti ohjatut palloventtiilit sopivat parhaiten sulkutoimintoihin ja vain kohtuulliseen säätötoimintaan. Mikäli ohjaus on automaattista, tätä ongelmaa ei yleensä synny, sillä pallo on koko ajan liikkeellä. (Smith & Zappe 2004)

Kaikki Vexven valmistamat palloventtiilit ovat rakenteeltaan täysin hitsattuja, eli kara-holkki on hitsattu venttiilin runkoon ja runko on hitsattu supistettuihin jatkeputkiin. Vexven palloventtiilit voidaan liittää kaukolämpöputkistoon joko hitsaten, kierteellä tai laippojen avulla. (Vexve Oy 2017c)

Vexven palloventtiilit soveltuvat kaasujen, kuten paineilman, ja nesteiden virtausten ohjaukseen. Palloventtiilin tiivisteet ja pallon pinta kuitenkin vahingoittuvat, mikäli väliaineena on hankaavia partikkeleja sisältäviä nesteitä. Lisäksi kuitupitoiset väliaineet saattavat kietoutua pallon ympärille, jolloin se saattaa jumiutua. Koska pallon liike tiivistettä vasten on liukuvaa, palloventtiilit kestävät kiinteitä aineita sisältäviä nesteitä vain kohtalaisesti. (Smith & Zappe 2004)

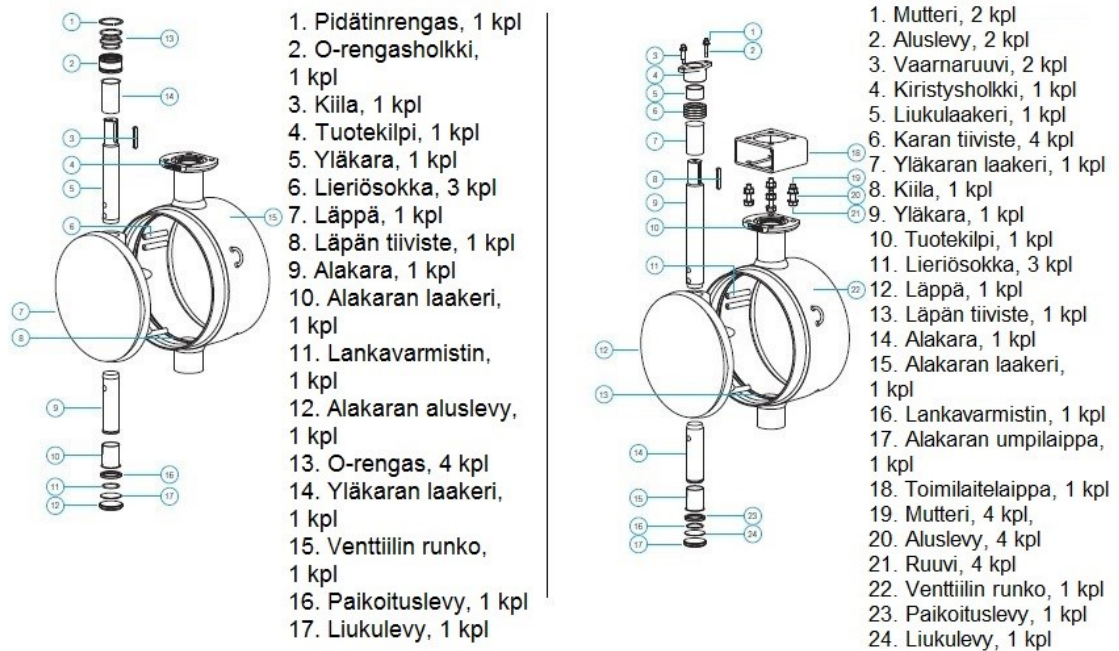
Vexven valmistamat palloventtiilit jaotellaan soveltuvan väliaineen perusteella teräspalloventtiileihin, kaasuventtiileihin ja lauhdeventtiileihin. Siniseksi maalattavat teräspalloventtiilit soveltuvat kaukolämpö- ja kaukokylmäverkkoihin sekä muihin teollisuuden ja talotekniikan lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmiin. Lisäksi ne soveltuvat muun muassa öljy- ja paineilma-verkkoihin. Keltaiset kaasuventtiilit soveltuvat maakaasu- ja paineilma-järjestelmiin. Lauhde- ja kuumaöljyjärjestelmiin soveltuvat punaiseksi maalatut lauhdeventtiilit. (Vexve Oy 2017c)

3.1.2 Läppäventtiili

Läppäventtiilejä käytetään sekä sulku- että säätöventtiileinä (Lassila et al. 2010). Vexven tuotemerkkinä läppäventtiileille on Vexve. Vexve valmistaa sekä sulkuläppäventtiilejä että yhdistettyjä sulku- ja säätöläppäventtiilejä. Yhdistetyt sulku- ja säätöläppäventtiilit on tarkoitettu maltilliseen säätötoimintaan ja sen vuoksi niissä on kiristettävä karan tiivisterakenne. Näin varmistetaan, että venttiili pysyy tiiviinä. Sekä sulkuläppäventtiilien että yhdistettyjen sulku- ja säätöläppäventtiilien nimellispaineluokat ovat PN16 tai PN25. Vexven sulkuläppäventtiilit ovat DN-kooltaan välillä 300 – 1400 mm ja yhdistetyt sulku- ja säätöläppäventtiilit välillä 300 – 1200 mm. (Vexve Oy 2016b)

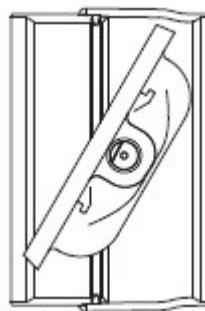
Läppäventtiilissä sulkuelimenä on läppä ja venttiili avataan ja suljetaan kiertämällä läppää noin 90° akselin ympäri (Airila et al. 1995). Läppäventtiilin virtausarvot ovat hyvät venttiilin ollessa kokonaan auki. Venttiilien avulla on myös mahdollista säätää virtausta pitämällä läppää vain osittain auki. (Smith & Zappe 2004) Vexven sulkuventtiilejä ovat mallit BFS ja BRS, ja yhdistettyjä sulku- ja säätöventtiilejä mallit BFC ja BRC (Vexve

Oy 2016b). Kuvassa 11 on esitetty erot Vexven valmistamien sulkuläppäventtiilien ja yhdistettyjen sulku- ja säätöläppäventtiilien rakenteissa.



Kuva 11. Vexven läppäventtiilien rakenteet. Vasemmalla on sulkuläppäventtiili ja oikealla yhdistetty sulku- ja säätöläppäventtiili. (Vexve Oy 2016b)

Läppäventtiilit voidaan jaotella virtausaukon halkaisijan mukaan supistettu- ja täysaukkoisiin. Läppäventtiilien kohdalla tämä jaottelu ei kuitenkaan tarkoita samaa asiaa kuin palloventtiilien kohdalla. Läppäventtiilien virtausaukon halkaisija ei ole koskaan sen nimelliskoon mukainen, sillä läppä on virtausaukossa myös venttiilin ollessa täysin auki-asennossa. (Vexve Oy 2016b) Kuva 12, jossa on Vexven läppäventtiili osittain auki, havainnollistaa läpän liikettä venttiilissä.



Kuva 12. Vexven läppäventtiili osittain auki (Vexve Oy 2016b).

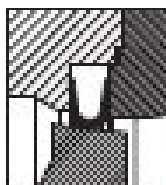
Vexven täysaukkoisessa läppäventtiilissä tiivisterakenne on upotettu venttiilin runkoon. Supistettuaaukkoisessa rakenteessa puolestaan venttiilin tiivisterakenne ei ole upotettuna venttiilin rungossa, vaan välirengas, johon tiiviste kiinnitetään, on kiinnitetty venttiilin

runkoon. Runkoon kiinnitetty välirengas supistaa tällöin venttiilin virtausaukkoa. Mallit BFS ja BFC ovat täysaukkoisia läppäventtiilejä, ja niitä on olemassa DN-kokoluokissa 300 – 800 mm. Puolestaan mallit BRS ja BRC ovat supistettuaukkoisia venttiilejä, ja niiden DN-koot ovat välillä 900 – 1400 mm. (Vexve Oy 2016b) Kuvassa 13 näkyy supistettu- ja täysaukkoisten läppäventtiilien rakenne-ero.



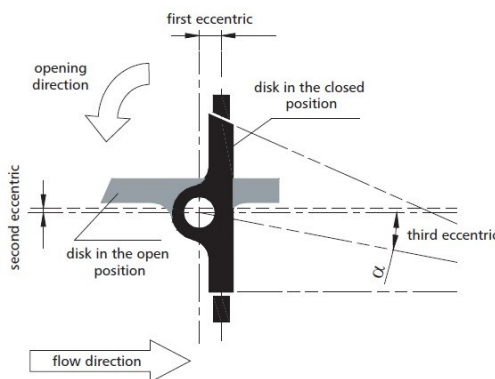
Kuva 13. Vexven täysaukkoisen venttiili vasemmalla ja supistettuaukkoisen venttiili oikealla. (Vexve Oy 2017c)

Läppäventtiilien tiivisteiden tulee olla metallisia, jotta venttiilit ovat tiiviitä (Lassila et al. 2010). Metalliset tiivisteet ovat tiiviitä molempiin virtaussuuntiin (Smith & Zappe 2004). Vexven käyttämässä tiivisterakenteessa metallitiiviste on U-muotoinen ja läpän muoto on ellipsi. (Vexve Oy 2016b). Kuvassa 14 on Metson läppäventtiilin U-tiiviste.



Kuva 14. Läppäventtiilin U-muotoinen metallitiiviste (Metso Flow Control Inc. 2016).

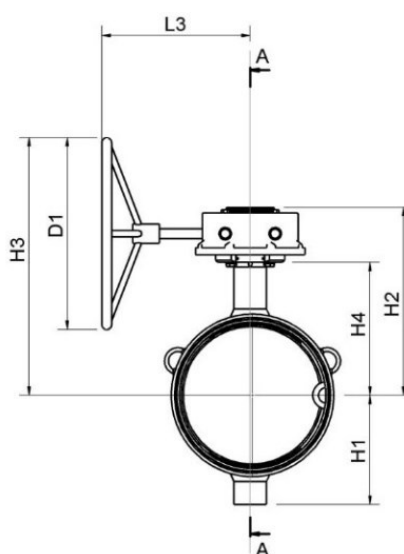
Metallitiivisteisten läppäventtiilien rakenne on tyypillisesti kolmoisepäkeskeinen. Kyseinen rakenne on esitetty kuvassa 15. Kuten kuvasta nähdään, ensimmäinen epäkeskeisyys tulee siitä, että pyörimisakseli sijaitsee läpän tiivistyspinnan takana. Toinen epäkeskeisyys tulee siitä, että pyörimisakseli on venttiilin rungon keskilinjasta sivussa, kuten nähdään myös kuvasta. Lisäksi läpän tiivistyspinta ei ole pyöreä, vaan sen muoto muistuttaa vinoa poikkileikkausta kartiosta. (Smith & Zappe 2004) Kuva 15 esittää kolmoisepäkeskeisen tiivisterakenteen toisen läppäventtiilivalmistajan Broenin läppäventtiilille.



Kuva 15. Broenin läppäventtiilin kolmoisepäkeskeinen rakenne (Broen).

Läppäventtiilin sulkeutuessa sulkuelin, eli läppä, niin sanotusti putoaa tiivisteelle venyt-
täen sitä karaan nähdessä kohtisuorassa suunnassa ulospäin ja karan suuntaisesti sisäänpäin
muodostaen näin tiiviin pinnan. Kun venttiili avautuu, läppä ikään kuin nousee tiivisteeltä
ja tiiviste palautuu alkuperäiseen muotoonsa. Tiivistysvoima syntyy tällöin yhdistetystä
toimilaitteen momentista ja hydrostaattisesta voimasta, joka syntyy paineen vaikutuksesta
läppään. (Smith & Zappe 2004) Tiivistettä ei voida irrottaa, sillä se on upotettu tiivistera-
kenteeseen täysaukkoisissa läppäventtiileissä ja supistettuaukkoisissa venttiileissä tiivis-
terakenne on hitsattu venttiilin runkoon, jolloin sen irrottaminen ehjänä on hankalaa
(Vexve Oy 2016b).

Kuten palloventtiilitkin, myös Vexven läppäventtiilit ovat rakenteeltaan täysin hitsattuja.
Läppäventtiileille mahdollisia kiinnitystapoja putkistoon ovat hitsaus ja laippaliitos.
Vexven läppäventtiileissä käytetään paineluokassa PN25 mekaanista rajoitinta rajoitta-
maan venttiilin läpän asentoa. (Vexve Oy 2017c) Rajoitin näkyy kuvassa 16 venttiilin
rungossa oikealla.



Kuva 16. Vexven läppäventtiili, jossa näkyy runkoon kiinnitetty rajoitin (Vexve Oy 2017c).

Kuten palloventtiileissä, myös läppäventtiileissä sulkuelin liikkuu tiivistettä vasten liukumalla, jolloin venttiili kestää vain kohtuullisesti kiinteitä aineita sisältäviä nesteitä. Se, kestääkö läppäventtiili jauheita ja partikkeleja riippuu tiivistemateriaalin kovuudesta. Läppäventtiilien väliaineina voidaan käyttää myös kaasuja ja paineilmaa. Kaukolämpöverkoissa suositellaan käytettäväksi palloventtiilejä, mutta hinta- ja tilantarvesyistä varsinkin suurilla putkihalkaisijoilla käytetään läppäventtiilejä. (Smith & Zappe 2004)

3.2 Venttiilien ohjaus

Venttiilit voidaan jakaa toimintaperiaatteen perusteella lineaarisiin, osittain kiertyviin ja monikierroksisiin. Linearisessa venttiilissä kara on liukuva ja työntää sulkuelintä ylös ja alas. Monikierroksisessa venttiilissä tarvitaan monta karan kierrosta, jotta venttiili saadaan liikutettua täysin auki -asennosta täysin kiinni -asentoon. Osittain kiertyvässä venttiilissä karan tulee kiertyä vain 90° auetakseen tai sulkeutuakseen. Osittain kiertyvän rakenteen etuna monikierroksiseen nähden on, että niiden ohjaus vaatii vähemmän energiaa lyhemmän siirtomatkan takia. (Smith & Zappe 2004)

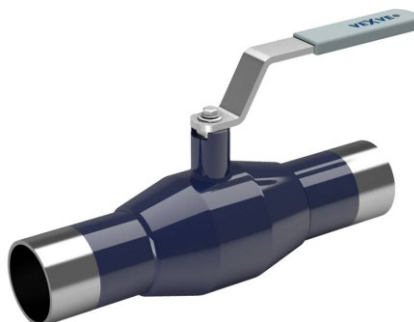
Pallo- ja läppäventtiilit ovat osittain kiertyviä venttiilejä. Palloventtiilien toimilaitetta valittaessa on otettava huomioon prosessin lämpötila, paine, virtausnopeus ja viskositeetti. Lisäksi on huomioitava kitka sulkuelimen ja tiivisteiden välillä. Virtausnopeus on merkittävä tekijä läppäventtiilien momenttivaatimuksissa johtuen läpän aiheuttamista hydrodynaamisista, eli nesteen virtauksesta aiheutuvista, voimista. Läppäventtiileillä käytetään usein lukittavia toimilaitteita, sillä läppä saattaa liikkua virtausvoimien takia. (Smith & Zappe 2004)

Pallo- ja läppäventtiilejä voidaan ohjata monella eri tavalla. Manuaalisella ohjauksella tarkoitetaan sitä, että käyttäjän tulee ohjata venttiiliä paikan päällä. Mikäli manuaalinen ohjaus ei tule kysymykseen, on olemassa monenlaisia toimilaitteita, joiden avulla venttiiliä voidaan ohjata esimerkiksi painamalla nappia tai automaatiojärjestelmän kautta. Toimilaitteiden voimanlähteenä voi olla hydraulikka, sähkö tai pneumatiikka. (Smith & Zappe 2004)

Valittaessa toimilaitetta on otettava huomioon, että toimilaitteen on pystyttävä välittämään tarpeeksi momenttia venttiilin asennon muuttamiseksi matalimmalla mahdollisella teholla ja myös pidettävä venttiilin asento haastavimmissa virtausolosuhteissa, jotka venttiiliin voi kohdistua. Lisäksi toimilaitteen on pystyttävä ohjaamaan venttiiliä koko sulkuelimen liikerata halutulla nopeudella. Epäsuotuisissa olosuhteissa toimilaitteen on estettävä liiallisen voiman kohdistuminen venttiiliin. (Smith & Zappe 2004)

3.2.1 Manuaalinen ohjaus

Pieniä palloventtiilejä, joiden nimelliskoko on pienempi kuin DN100, käytetään usein manuaalisesti käsikahvalla (Lassila et al. 2010). Kuvassa 17 on esitetty Vexven palloventtiili käsikahvalla.



Kuva 17. Vexven palloventtiili (Vexve Oy 2017c).

Käsi käyttövaihteistoa käytetään nimelliskoosta DN125 lähtien suuremmilla pallo- ja läppäventtiileillä. Lisäksi käsi käyttövaihteistoja käytetään myös pienempien palloventtiilien kanssa, mikäli venttiilin sijainti on haastava. (Lassila et al. 2010) Kuvassa 13 luvussa 3.1.2 läppäventtiileille on asennettu käsi käyttövaihteistot.

3.2.2 Pneumaattinen toimilaite

Paineistettu ilma on pääsääntöinen pneumaattisissa toimilaitteissa käytetty voimanlähde mutta on olemassa myös toimilaitteita, joissa käytetään hyväksi putkistossa olevaa paineistettua maakaasua. Venttiilin toiminta-aikavaatimukset on otettava huomioon, kun mitoitetaan ilmansyötön ja ilmaputkien kokoa pneumaattiselle toimilaitteelle. Kun on kyse useamman pneumaattisen toimilaitteen muodostamasta verkosta, voidaan käyttää kompressoria ja painesäiliötä riittävän tehon saavuttamiseksi. (Smith & Zappe 2004) Kuvassa 18 on pneumaattinen toimilaite.



Kuva 18. Pneumaattinen toimilaite (Smith & Zappe 2004).

Pneumaattiset toimilaitteet ovat yleisimmin käytettyjä toimilaitteita venttiileissä. Tämä johtuu siitä, että ne ovat edullisia ja tehonlähde, paineistettu ilma, on helposti saatavilla. Lisäksi ne ovat yksinkertaisia ja turvallisia rakenteeltaan ja myös helppoja huoltaa. Paineennousu ilman lämmitessä edistää toimilaitteen liikettä ja lisäksi paineilmaa voidaan turvallisesti päästää ilmakehään. (Smith & Zappe 2004)

Pneumaattisia toimilaitteita on kolmea erilaista rakennetta; kalvo-, mäntä- ja siipitoimilaitteet. Kalvotoimilaitteessa joustava levykalvo on venytetty kahden yhteen ruuvatun kehikon väliin, jolloin syntyy kaksi ilmatiivistä kammiota. Molempiin kammioihin tulee kaksi ilmanakavaa, toinen ilmansyötölle ja toinen ilmanpoistolle. Kun ilmaa syötetään toiseen kammioon, kammioiden välinen kalvo venyy liikuttaen toimilaitteen akselia, joka on kiinnitetty venttiilin sulkuelimeen. Yksisuuntaisessa kalvotoimilaitteessa toisessa ilmakammiossa on jousi, joka avustaa kalvon palautumista alkuasentoonsa kun paine putoaa. Tämä on turvallinen ratkaisu kun esimerkiksi tehonsyöttö katkeaa, sillä venttiili palaa haluttuun alkuasentoonsa. Akselin liikkeen suuruus riippuu siitä, kuinka paljon ilmaa kammioon syötetään. (Smith & Zappe 2004)

Kalvorakenteisia toimilaitteita käytetään yleensä lineaarisilla venttiileillä, mutta toimilaitteilla on mahdollista luoda myös pyörivää liikettä. Toimilaitteet sopivat alhaisemman paineen putkistoihin. Haittana on, että pienillä venttiileillä rajoitetussa tilassa toimilaitteen korkeus saattaa olla liian suuri. Toisaalta suuremmilla venttiileillä toimilaitteen paino voi nousta suureksi. (Smith & Zappe 2004)

Mäntärakenteisessa pneumaattisessa toimilaitteessa on sylinteri, jonka sisällä liikkuu O-renkaiden avulla tiivistetty mäntä. Toimilaitteet ovat usein kaksisuuntaisia, jolloin ilmaa voidaan syöttää molempiin kammioihin. Asennonosoitimen perusteella lisätään tai poistetaan ilmaa halutusta kammioista. Männän avulla voidaan luoda lineaarista liikettä suoraan venttiilin karalle tai lineaarinen liike voidaan muuttaa pyöriväksi. Mäntärakenteinen pneumaattinen toimilaite on yleistymässä, sillä prosessien ohjausvaatimukset monimutkaistuvat jatkuvasti. (Smith & Zappe 2004)

Siipirakenteinen pneumaattinen toimilaite koostuu ilmakammiossa sijaitsevasta männän mallisesta levysiivekkeestä sekä pyörivästä akselist, joka tuottaa toimilaitteen karaa pyörittävän momentin. Paineilmaa syötetään toiseen kammioon, jolloin toisesta kammioista poistuu ilmaa ja siiveke alkaa liikkua pyörittäen akselia. Siipirakenteisia toimilaitteita käytetään yleisesti 90 ° kiertyvillä venttiileillä. Toimilaitteella voidaan luoda vain alhaisia momentteja, joten se sopii käytettäväksi vain matalapaineisissa linjoissa sijaitsevien venttiilien ohjaukseen. (Smith & Zappe 2004)

Pneumaattiset toimilaitteet sopivat erityisesti osittain kiertyville venttiileille, sillä venttiilien iskun pituus on rajoitettu. Ne sopivat kuitenkin myös lineaarisille venttiileille.

Pneumaattista energiaa on helppo varastoida ja sitä voidaan käyttää, kun muita energialähteitä ei ole saatavilla tai niitä on saatavilla rajoitetusti. Pneumaattiset toimilaitteet soveltuvat kaikenkokoisille venttiileille. (Smith & Zappe 2004)

Koska ilma on kokoonpuristuvaa, toimilaitteen kyky säilyttää asentonsa on rajallinen. Pneumaattinen toimilaite tulee lämpöeristää kohteissa, joissa lämpötila voi laskea alhaiseksi, sillä pehmeät tiivisterengasmateriaalit aiheuttavat lämpötilarajoituksia. Lisäksi toimilaitteet ovat herkkiä korroosiolle ja ylimääräisille aineille. Paineilmankulutus toimilaitteessa on suuri, jolloin voi käydä niin, ettei tarpeeksi ilmaa ole saatavissa etenkin suuremmille venttiileille ja momenteille. (Smith & Zappe 2004)

3.2.3 Sähköinen toimilaite

Sähkötoimilaitteet ovat sähkömoottorikäyttöisiä ja niitä on olemassa usealle venttiilirakennetyypille ja -kokoluokalle. Toimilaite muodostuu sähkömoottorista, ohjauslohkosta, vaihdelaatikosta ja rajakytkimistä. Toimilaitteen rakenteen tulee olla sellainen, ettei sähkömoottoriin pääse kosteutta ja ettei kondensaatiota pääse tapahtumaan toimilaitteen sisällä. Sähkömoottorit tuottavat suuria pyörimisnopeuksia, jolloin vaaditaan alennusvaihteita, jotka alentavat pyörimisnopeudet venttiilin ohjaukseen sopiviksi. (Smith & Zappe 2004)

Sähkötoimilaitetta käytetään, mikäli venttiilejä halutaan käyttää etänä ja toimilaitteet soveltuvat myös tarkkaa säätöä vaativiin prosesseihin (Smith & Zappe 2004). Sähkötoimilaitteet sisältävät etäohjausta varten integroidun ohjausyksikön, joka voidaan liittää mihin tahansa automaatiojärjestelmään. Tällöin toimilaite ohjaa venttiiliä automaatiojärjestelmän ohjaussignaalien perusteella, viestittää venttiilin tilan takaisin ohjausjärjestelmään sekä pysäyttää venttiilin joko raja- tai momenttikytken tiedon perusteella. Integroidun ohjausjärjestelmän etuina ovat esimerkiksi suunnittelun, dokumentoinnin ja käyttöönoton yksinkertaistuminen. (Auma Finland Oy 2015)

Sähkötoimilaitteesta voidaan saada monenlaista anturitietoa, jota voidaan hyödyntää toimilaitteen ohjauksessa. Esimerkiksi venttiilin asennon, raja- ja momenttikytken sekä moottorinsuojakytkinten signaalit voidaan välittää ohjausyksikön avulla ulkoiselle automaatiojärjestelmälle kaapeloimalla. Lisäksi automaatiojärjestelmästä tulevat ohjaussignaalit välitetään toimilaitteelle ohjausyksikön kautta. Ohjausyksikkö ja ulkoinen automaatiojärjestelmä voidaan kytkeä toisiinsa myös kenttäväylän avulla, jolloin tiedonsiirtoon käytetään yhteistä parikaapelia. Tällöin säästetään kustannuksia etenkin kun on kyseessä pitkät kaapelointimatkat. (Auma Finland Oy 2015)

Venttiilit pitää sähkötoimilaitteen lisäksi varustaa myös manuaalisella ohjaustavalla, paikallis- tai käsikäytöllä, joka voi sijaita itse toimilaitteessa tai sen välittömässä läheisyydessä (Smith & Zappe 2004). Kuvassa 19 on sähkötoimilaite.



Kuva 19. 3-vaiheinen sähkötoimilaite (Smith & Zappe 2004).

Sähkötoimilaitteille on määritelty vaatimuksia, jotka niiden tulee täyttää. Niiden jännitetasen tulee Suomessa olla 400 tai 230 V tasasähköä, taajuuden 50 Hz, niillä pitää olla toimintarajat (kiinni-auki), tiiviysluokan tulee olla sisätiloissa IP65 ja kaivoissa IP67 ja viestisignaalin tulee olla standardoitu signaali. Sähkötoimilaitteissa käytetään usein kolmivaiheista sähkönsyöttöä, sillä sitä on helppo ohjata ja se on muuttumatonta. (Smith & Zappe 2004)

Sähkötoimilaitteen etuina ovat tasainen toiminta, vakaus, suuret momenttiarvot ja tasainen työntövoima. Edellä mainituista syistä ne eivät ole herkkiä ongelmille, joita kokoonpuristuvat nesteet aiheuttavat. Etuna on myös se, että sähkötoimilaitteet voidaan liittää automaatiojärjestelmiin ja koska ne on suojattu ympäristövaikutuksilta, ne ovat puhtaita eivätkä tuota likaa tai kosteutta. Sähkötoimilaitteet ovat lisäksi kompakteja ja energiaa ei mene hukkaan. (Smith & Zappe 2004)

Haittapuolina sähkötoimilaitteille voidaan pitää korkeaa hintaa sekä monimutkaista rakennetta. Lisäksi sähkötoimilaitteet vaativat huoltoa usein. Haittana on myös se, että ne tarvitsee suojata kosteudelta, sähkönsyöttökaapelit on suojattava korkeissa lämpötiloissa ja sähkömoottoreiden on oltava turvallisia vaarallisilla alueilla. Sähkötoimilaitteiden haittapuolena voidaan pitää myös sitä, että riittävän sähkötehon varastointi vaatisi suurta akkua ja kaukolämpöventtiilien toimilaitteille varattu tila on usein hyvin rajallinen. Lisäksi akun lisääminen toimilaitteen yhteyteen toisi mukanaan lataustarpeen ja siten lisäisi huoltokäyntejä, mikä ei ole toivottava kaukolämpöalalla. Sähkötoimilaitteissa on toiminto, joka lukitsee toimilaitteen paikalleen sähkökatkoksen syntyessä, mikä voi aiheuttaa vaaratilanteita. (Smith & Zappe 2004)

3.2.4 Hydraulinen toimilaite

Hydraulisia toimilaitteita on saatavilla neljällä eri rakenteella; pyörivällä männällä, hydraulisylinterillä, kehikon sisässä olevalla hammaspyörällä, sekä rakenteella, joka sisältää hydraulimoottorin, vaihteen ja näitä yhdistävän akselin. Toimilaitteet voivat toimia kahden suuntaan tai ne voivat olla jousipalautteisia kuten pneumaattiset toimilaitteet. Jousipalautteisessa toimilaitteessa energiaa kuluu jousen puristamiseen, kun taas kaksisuuntaisessa toimilaitteessa kaikki energia saadaan toimilaitteesta hyötykäyttöön. (Smith & Zappe 2004) Kuvassa 20 on Vexven Hydrox-tuoteperheen hydraulinen toimilaite.



Kuva 20. Hydraulinen toimilaite (Vexve Oy 2017c).

Tarvittava paine toimilaitteen ohjaamiseksi luodaan hydraulisella pumpulla joko paikallisesti siirrettävällä pumppukoneikolla tai etänä, jolloin hydraulinen teho siirretään letkujen avulla (Smith & Zappe 2004). Esimerkkinä etäohjausjärjestelmästä hydrauliselle toimilaitteelle voidaan pitää Vexven HCU (Hydraulic Control Unit) Remote-ohjausjärjestelmää. Ohjausjärjestelmä sisältää sähkömoottorikäyttöisen hydraulipumpun, joka yhdistetään kaapissa olevan ohjausventtiililohkon kautta hydrauliletkujen avulla hydrauliseen toimilaitteeseen. Ohjausventtiililohkon magneettiventtiilien avulla ohjataan hydraulikaajärjestelmää venttiilin asentoa ilmaisevan asentolähtetimen digitaalisten auki- ja kiinnisignaalien perusteella. (Vexve Oy 2016a)

HCU Remote-sisältää ohjausyksikön, jonka kannessa olevat ohjauspainikkeet on johdettu ohjausventtiililohkon magneettiventtiileille sekä sähkömoottorikäyttöiselle pumpulle. Pumpun ja magneettiventtiilien avulla ohjataan toimilaitetta ja siten myös venttiiliä kiinni tai auki. Lisäksi ohjausyksikön kannessa olevat led-valot ilmaisevat venttiilin asentoa. HCU Remote voidaan lisäksi yhdistää ulkoiseen automaatiojärjestelmään joko 4-20 mA signaali-kaapeloinnin tai Modbus TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol) tietoverkkoprotokollaa käyttäen. Myös langaton tiedonsiirto ulkoisen automaatiojärjestelmän ja HCU Remote-ohjauskeskuksen välillä on mahdollista. (Vexve Oy 2016a)

Paineen avulla säädetään toimilaitteen tuottamaa momenttia, mikä tekee hydraulisesta toimilaitteesta joustavamman kuin sähköiset ja pneumaattiset toimilaitteet. Hydraulisten toimilaitteiden avulla voidaan tästä syystä saavuttaa suuriakin momentteja. Hydraulisissa toimilaitteissa käytetään käytännössä kokoonpuristumatonta nestettä, jolloin toimilaitteen iskut ovat jäykkiä ja toimilaitteen toiminta on tasaista. Hydraulisia toimilaitteita käytetään, kun pneumaattinen tai sähköinen toimilaite ei sovi kohteeseen, tai kumpaakaan ei ole saatavilla. (Smith & Zappe 2004)

Hydraulisen toimilaitteen tuottamat voimat ovat suuria ja hydraulista painetta voidaan varastoida joko paikallisesti tai etänä. Toimilaite on kompakti, joten se on helppo pinnoittaa ja eristää taloudellisesti. Lisäksi hydrauliset toimilaitteet ovat erittäin luotettavia ja oikein valmistettuina vedenkestäviä, jolloin ne sopivat myös märkiin olosuhteisiin esimerkiksi avomerellä. (Smith & Zappe 2004)

Hydraulisen järjestelmän rakentaminen ei ole välttämättä taloudellisesti kannattavaa. Lisäksi etäkäytöissä tarvitaan pitkiä hydrauliletkuja, joissa tapahtuvan paineenpudotuksen takia hydraulisen toimilaitteen käyttö ei ole aina sallittua. Suurien venttiilien ohjaukseen käytetty toimilaite saattaa lisäksi olla suuri ja rakenne kömpelö. (Smith & Zappe 2004)

Hydraulinesteet lämpölaajenevat huomattavasti, jolloin on tärkeää suojata hydrauliletkut tilanteilta, joissa lämpötila voi nousta. Lämpölaajenemisen takia on lisäksi usein tarpeen käyttää paineenrajoitusventtiilejä, jotta vältytään vaarallisilta paineennousuilta. Hydraulisissa toimilaitteissa käytetyissä komponenteissa koneistustoleranssit ovat tiukkoja, jotta saavutetaan vaadittu tiiviys. Lämpölaajeneminen voi aiheuttaa myös poikkeamia toleransseissa. Edellä mainituista syistä esimerkiksi tulipalon sattuessa on suuri mahdollisuus, että toimilaite ei toimi toivotulla tavalla. (Smith & Zappe 2004)

4 ÄLYKKÄÄT RATKAISUT

Älykkäitä ratkaisuja tarvitaan yhteiskunnan eri osa-alueilla sekä turvallisuuden että tuottavuuden parantamiseksi (Budampati & Kolavennu 2016). Lisäksi automaatio teollisuudessa parantaa tuotteen laatua ja tuotantoprosessien energiatehokkuutta, helpottaa henkilöresurssien optimointia ja vähentää ympäristövaikutuksia (Raivio & Syrjänen 2005). Esimerkiksi monissa teollisuuden prosesseissa käsitellään ihmiselle vaarallisia aineita ja käytössä on työvälineitä tai -tapoja, jotka voivat olla käyttäjälle hengenvaarallisia. Älykkäiden prosessienohjausjärjestelmien johdosta käyttäjän ei tarvitse mennä itse prosessi-alueelle ja näin säästytään tapaturmilta. Tuottavuuden parantamisessa älykkäät ratkaisut auttavat, kun häiriöt prosesseissa huomataan jo etukäteen ja säästytään esimerkiksi ylimääräisiltä seisokeilta. (Budampati & Kolavennu 2016)

4.1 Automaatio teollisuudessa

Vuonna 1976 Honeywell esitteli ensimmäisen kaupallisen prosessien ohjaukseen tarkoitetun hajautetun ohjausjärjestelmän, josta käytetään yleisesti termiä DCS (Distributed Control System). Hajautetussa ohjausjärjestelmässä ohjaus tapahtuu kenttälaitteissa itsessään. Tämän jälkeen kehitys on ollut nopeaa. Esimerkiksi sähkönsiirtojärjestelmissä venttiilit, pumput, kompressorit ja tankit sijaitsevat usein kaukana käyttäjästä. SCADA-järjestelmät (Supervisory Control and Data Acquisition), eli tiedon keruuseen ja valvovaan ohjaukseen tarkoitetut järjestelmät, kehitettiin, jotta käyttäjä pystyi valvomaan kauempana sijaitsevien prosessien toimintaa. SCADA-järjestelmä koostuu etäpäätteestä (RTU, Remote Termination Unit) sekä pääasemasta ja nämä yhdistävästä joko langallisesta tai langattomasta kommunikaatioprotokollasta. (Budampati & Kolavennu 2016)

Etäpäätteen tehtävänä on muuntaa antureiden ja toimilaitteiden, jotka sijaitsevat kaukana käyttäjästä, data digitaaliseen muotoon. SCADA:n ohjausosalla tarkoitetaan sitä osaa, jonka avulla käyttäjä ohjaa kenttälaitteita manuaalisesti etäohjauksella eli esimerkiksi avaa ja sulkee venttiilejä tai ohjaa pumppuja tai kompressoreja kauempana sijaitsevasta valvomosta. HMI (Human Machine Interface) raportoi käyttäjälle prosessien toiminnasta ja käyttäjä näkee jokaisen laitteen tilatiedon ennen ja jälkeen ohjauksen. (Budampati & Kolavennu 2016)

Vanhin olemassa oleva tiedonsiirtomenetelmä mittasignaalien siirtämiseksi ohjausjärjestelmiin on analoginen 4 - 20 mA sähkövirtasignaali (Budampati & Kolavennu 2016). Jatkuva 4-20 mA sähkövirtasignaalia kutsutaan analogiseksi signaaliksi. Myös digitaalisia signaaleja eli signaaleja, joilla on kaksi mahdollista arvoa, esimerkiksi auki/kiinni, käytetään tiedonsiirrossa. (Auma Finland Oy 2015) Sähkövirtasignaalit kehitettiin, jotta joh-

dinten pituus ja resistanssi eivät vaikuttaisi signaaliin. Ensimmäisiin elektronisiin sarjatiedonsiirtomenetelmiin kuuluu standardi RS-232, joka käyttää toisistaan erillisiä johtimia osoittamaan valmiuden kahden laitteen väliseen tiedonsiirtoon. RS-232 on yksipäätteinen elektroninen rajapinta, jonka ongelmana ovat sähköiset häiriöt, kuten kohina, sekä rajoitukset johdinten pituudessa. (Budampati & Kolavennu 2016)

Standardi TIA/EIA 422 kehitettiin, jotta pystyttiin korjaamaan standardin RS-232 ongelmia. TIA/EIA 422 sallii sarjatiedonsiirron päälaitteen ja useiden muiden laitteiden välillä yhden parijohtimen avulla käyttäen esimerkiksi väyläkommunikaatiota. (Budampati & Kolavennu 2016) Kenttäväyliä käyttämällä järjestelmän kaapelointimäärä vähenee, jolloin järjestelmä yksinkertaistuu ja vikaherkkien kohtien määrä vähenee. Sähkövirtasignaaleihin verrattuna kenttäväylä sietää lisäksi paremmin häiriösignaaleja, sillä viestit ovat digitaalisessa muodossa. (Heinonkoski 2013)

Tarve yhä nopeampaan tiedonsiirtoon johti Ethernetin kehitykseen, joka on nykyisin laajalti käytössä. Ethernet-kaapelit ovat suojaamattomia kiertyttyjä parikaapeleita (UTP). Ethernet on nopea ja edullinen tiedonsiirtomenetelmä, jossa monet tietokoneet keskustelvat keskenään yhden kaapelin välityksellä. Törmäykset eli tapaukset, joissa useat laitteet yrittävät siirtää tietoa yhtä aikaa, on mahdollista havaita ja estää ongelmatilanteet, jolloin tietoa ei mene hukkaan törmäyksen johdosta. (Budampati & Kolavennu 2016)

Ethernetin lisäksi on olemassa myös lukuisia muitakin kenttäväyläjärjestelmiä. Yleisimpiä kenttäväyläjärjestelmiä prosessiautomaatiossa ovat Profibus DP, Modbus RTU, Foundation Fieldbus sekä HART. Profibus-järjestelmästä on saatavilla kolme erilaista versiota; Profibus PA, jota käytetään prosessiautomaatiossa, Profinet, jota käytetään Ethernet-pohjaiseen tiedonsiirtoon sekä Profibus DP, jota käytetään esimerkiksi koneiden ja laitosten automaatioon. (Auma Finland Oy 2015)

Modbus puolestaan on hyvin yksinkertainen kenttäväyläjärjestelmä, jota käytetään laitosten automaation toteuttamiseen, mutta siitä on saatavilla myös Ethernet-pohjainen Modbus TCP/IP, jota käytetään laitteiston integroimisessa ulkoiseen automaatiojärjestelmään. Foundation Fieldbus-järjestelmää käytetään erityisesti prosessiautomaatiossa, ja sen fyysiset ominaisuuden perustuvat yksinkertaisten kenttälaitteiden tiedonsiirtoon ja sähkönsyöttöön saman johdinparin avulla. HART-väylä puolestaan käyttää signaalien siirtämiseen 4-20 mA standardisignaalia. HART-väylän avulla voidaan siirtää samanaikaisesti niin digitaalisia kuin analogisiakin signaaleja. (Auma Finland Oy 2015) HART-väylän etuina ovat mm. sen nopeus, tietoturvallisuus ja tarkkuus. HART on yleisesti käytössä ja se on yhdistettävissä perinteisiin sähkövirtasignaaleihin. (Heinonkoski 2013)

Yhä korkeampiin vaatimuksiin nopeuden ja välimatkan osalta kehitettiin optisia kuituja, jotka ovat myös laajalti käytössä (Budampati & Kolavennu 2016). Valokuitukaapeleiden avulla voidaan saavuttaa suuria kaapelointipituuksia, sillä valosignaalin vaimeneminen

valokuidussa on vähäistä. Edellä mainituista kenttäväyläjärjestelmistä ainakin Modbus RTU ja Profibus DP voidaan käyttää myös valokaapeilla. (Auma Finland Oy 2015)

Myös langattomia tiedonsiirtomenetelmiä on olemassa ja yleisin on teollisuuden automaatioissa käytetty Wi-Fi-protokolla. Wi-Fi käyttää samaa kommunikaatioprotokollaa kuin Ethernet ja on siten käytettävissä kaikkialla, missä Ethernetkin. Erästä Wi-Fi-sovellusta on käytetty kulmakivenä LAN-verkon (Local Area Network) kehittämiseksi. LAN on jonkin alueen yhteinen verkko ja kokoa esimerkiksi yhteen viestejä voimalaitoksen eri protokollia käyttävistä verkoista. Jotta pystyttiin jakamaan verkkoa osiin, esimerkiksi kotiverkkoon, kehitettiin PAN (Personal Area Network). Lähes kaikkiin langattomiin tiedonsiirtomenetelmiin sisältyy tietoturva, eli kaikkien datapakettien salaaminen. Bluetoothia käytetään teollisuudessa linkkinä teollisuuslaitteelta esimerkiksi älypuhelimeen, mutta se ei ole laajalti käytetty langaton tiedonsiirtomenetelmä teollisuudessa eikä sen odoteta yleistyvän. (Budampati & Kolavennu 2016)

4.1.1 Kaukolämpöteollisuus

Kaukolämpöteollisuudessa pyritään parantamaan kaukolämpöverkkojen energiatehokkuutta parantamalla hyötysuhdetta ja toimitusvarmuutta. Myös ympäristö pyritään huomioimaan paremmin muun muassa siirtymällä kaukolämmön tuotannossa uusiutuviin polttoaineisiin. Yleisiä tavoitteita kaukolämpöteollisuuden ohjaukseen ja valvontaan liittyen on ensinnäkin maksimoida lämpötilaero ennen ja jälkeen kaukolämpöverkon välitasemaa, joka voi olla esimerkiksi kotitalous. Tällöin varmistetaan että mahdollisimman paljon energiaa siirtyy kuluttajalle. (Wiltshire 2015)

Toinen yleinen tavoite on laskea kaukolämpöverkon menoveden lämpötilaa, jolloin minimoidaan lämpöhäviöt ympäristöön lämmön siirtämisen aikana. Lisäksi tavoitteena on muuttaa lämmönkäytön ajoittumista, jolloin tarvittavien tuotantolaitosten määrää pystytään vähentämään. Väliasemien valvonta ja toiminnan varmistaminen on myös eräs tavoite kaukolämpöteollisuuden ohjauksen, valvonnan ja kunnossapidon kehittämiseen liittyen. (Wiltshire 2015)

Väliasemalle tulevan kaukolämpöveden lämpötilan mittaamisen lisäksi on tärkeää mitata myös lähtevän veden lämpötilaa sekä vesimäärää, sillä energiayhtiö käyttää kyseisiä suureita laskutuksessa. Yleinen kaukolämmityksen ohjaukseen käytetty ohjausjärjestelmä väliasemilla mittaa ulkoilman lämpötilaa ja säätää sen perusteella väliaseman lämmönvaihtimelta lähtevän veden lämpötilaa. (Wiltshire 2015) Tämä tapahtuu säätämällä venttiiliä, joka ohjaa lämmönvaihtimelle tulevan veden määrää (Värjä & Mikkola 2012). On tärkeää, että ohjausjärjestelmä on kytketty rakennuksen lämmitysjärjestelmään, jotta lämpö otetaan rakennukseen verkosta tarvetta vastaava määrä (Wiltshire 2015).

Edellä mainitun kaltaisten ohjausjärjestelmien optimoimiseen on kehitteillä useita menetelmiä, jotka voivat tulevaisuudessa tehostaa väliasemien lämmitysjärjestelmiä. Ensimmäinen menetelmä on kuuman veden tuoton priorisointi, jossa rakennuksen huoneilman lämmitysjärjestelmä suljetaan väliaikaisesti kun väliasemalla on suuri tarve käyttöveden lämmitykselle. Huoneilman lämmitykselle ja kuuman veden tuotolle on väliasemilla usein omat lämmönvaihtimet. Priorisointi tapahtuu sulkemalla rakennuksen huoneilman lämmitysjärjestelmän lämmönvaihtimen tulopuolen venttiili ja näin estäen lämmön siirtyminen rakennuksen huoneilman lämmitysjärjestelmään. On otettava kuitenkin huomioon, että suurissa rakennuksissa, kuten kerrostaloissa, tarve kuumalle vedelle voi olla jatkuva, jolloin voi tulla kyseeseen vain venttiilin osittainen sulkeminen kokonaan sulkemisen sijaan. (Wiltshire 2015) Lisäksi rakennuksissa, joissa ei oleskella esimerkiksi öisin tai viikonloppuisin, voidaan huoneilman lämmitysjärjestelmä sulkea hetkellisesti energiankäytön optimoimiseksi (Värjä & Mikkola 2012).

Tuloveden lämpötila on tärkeä parametri, kun yritetään saavuttaa mahdollisimman suurta lämpötilaeroa väliaseman yli. Ideaalisessa kaukolämpöverkossa tuloveden lämpötila voidaan ennustaa mittaamalla ulkolämpötilaa, sillä tuloveden lämpötilaa säädetään ulkolämpötilan funktiona. Toisaalta tuloveden lämpötilaan vaikuttavat myös ulkoiset kuormitustekijät. Todellisuudessa joissain kaukolämpöverkoissa muut kuormitustekijät vaikuttavat tuloveden lämpötilaan voimakkaasti, jolloin ulkolämpötilan ollessa vakio tuloveden lämpötila voi vaihdella kymmeniä Celsius-asteita. (Wiltshire 2015) Kun kuormitukseen vaikuttavat lämpöhäviöt koostuvat vain lämmitettävien rakennusten lämpöeristyksestä ja ulko- ja sisälämpötilojen välisestä suhteesta, ulkokompensaattorilla toteutettu säätö toimii hyvin. Kuitenkin ilmastolliset olosuhteet, kuten aurinko, tuuli ja sade, vaikuttavat sisäilman lämpötilaan vaikka ulkoilman lämpötila pysyisi vakiona, jolloin säädön laatu heikkenee. Näitä var-ten on kuitenkin kehitetty ohjausjärjestelmään liitettäviä aurinko- ja tuulikompensointiosia. (Värjä & Mikkola 2012)

Jotta pystytään kompensoimaan ulkoisten kuormitustekijöiden vaikutusta, voidaan käyttää tuloveden lämpötilaa perustana huoneilman lämmitysjärjestelmän tulolämpötilan määrittämiselle. Tämä vaatii lämmitysjärjestelmään tulevan virtauksen säätöä siten, että oikea määrä energiaa tulee rakennukseen. Virtauksen säädön tarkoituksena on nostaa lämmitysjärjestelmän tulolämpötilaa ja vähentää lämmitysjärjestelmän virtausta siten, että maksimoidaan lämpötilaero ennen ja jälkeen väliasemaa. Säätö tapahtuu usein vain harvoin, sillä jatkuva säätäminen voisi olosuhteiden muuttumisen myötä aiheuttaa toimintahäiriöitä lämmönvaihtimelle. (Wiltshire 2015)

Mukautuva ohjaustapa on automaattinen ja iteratiivinen, eli toistuva, versio virtauksen säädöstä. Lämmitysjärjestelmän tulolämpötilaa säädetään asteittain ja paluulämpötilaa tarkkaillaan, jotta havaitaan ulkolämpötilaa vastaava matalin mahdollinen paluulämpötila. Matalinta paluulämpötilaa vastaava tulolämpötila talletetaan alkuarvoksi kyseiselle ulkolämpötilalle. Ulkolämpötilan muuttuessa sama prosessi toistetaan, jolloin löydetään

optimaalinen tulolämpötilan ja ulkolämpötilan suhde. Koska aikaa kuluu ja olosuhteet muuttuvat, optimaalisen suhteen löytäminen on jatkuva iteratiivinen prosessi. (Wiltshire 2015)

Edelle mainittujen optimointimenetelmien rajoittavana tekijänä on sopivien kommunikaatiostandardien puute. Jotta edellä mainituista menetelmistä saataisiin suurin mahdollinen hyöty irti, tulisi kaikkien väliasemien liittyä yhteiseen optimointijärjestelmään. Tällöin kuluttajien tulisi olla yhteistyöhaluisia mutta ongelmana on, että kuluttajien energian kulutuksesta saataisi tulla näkyvää myös muille kuluttajille. (Wiltshire 2015)

Energiayhtiöille on tärkeää valvoa väliasemia havaitakseen vikoja, jotta he pystyvät tarjoamaan totuudenmukaista laskutustietoa sekä palvelujen laadun kuluttajille. Havaitsemattomat viat voivat aiheuttaa suuria kustannuksia energiyhtiöille. Energiayhtiöillä voi lisäksi olla tuhansia kuluttajia, jolloin kaikilta saatujen mittaustietojen analysointi voi olla erittäin työlästä ja kallista. Vikojen havainnointi ja diagnosointi ovatkin suuri tutkimusala kaukolämpöalalla. (Wiltshire 2015) Väliasemien lämpökeskuksissa on usein hälytysjärjestelmä, jonka avulla on mahdollista havaita esimerkiksi pumppujen virhetoiminta tai liian suuri paine tai lämpötila (Värjä & Mikkola 2012). Lisäksi nykypäivänä esimerkiksi älykkäät lämpötilamittarit, joiden lukemat voidaan välittää keskitettyihin tietokantoihin, yleistyvät tähän tarkoitukseen. Niitä käytetään lähinnä laskutuksessa, mutta niiden hyödyntäminen esimerkiksi vian havainnoinnissa sekä valvonnassa on mahdollista. (Wiltshire 2015)

Viat voidaan jakaa digitaalisiin ja analogisiin vikoihin. Digitaalisessa, eli on/off, -diagnostiikassa tarkkaillaan järjestelmän tai komponentin tilaa esimerkiksi seuraamalla pulsien pituuksia ja amplitudeja. Hälytys saadaan, mikäli jokin raja-arvoista ylittyy tai alittuu. Lisäksi voidaan seurata rinnakkaisten toimintojen lukitusten onnistumista tai vertailla niitä laskennallisesti keskenään. (Heinonkoski 2013)

Suoraviivainen ja laajalti käytetty vian havainnointi ja diagnosointitapa analogisten vikojen tapauksessa on rajojen tarkkailu, jonka ideana on testata onko mitattu suure sille asetettujen rajojen sisällä (Heinonkoski 2013). Väliasemilla energiyhtiön mittaama suure on usein siirretyn energian määrä, joka toimii pohjana laskutukselle. Rajat voidaan määritellä esimerkiksi fyysisesti, turvallisuuskäytännöstä tai suunnitteluarvojen perusteella. Tyypillisesti järjestelmä antaa hälytyksen, mikäli mitattu suure ei ole haluttujen rajojen sisällä. Tämä tapa ei kuitenkaan ota huomioon eri suureiden välisiä yhteyksiä ja koska lämmitysjärjestelmän kuormitus vaihtelee eri ajankohtina, on käytettävä väljiä rajoja, jotta vältytään turhilta hälytyksiltä. Näistä syistä rajojen arviointia voidaan käyttää katastrofien välttämiseksi, mutta ei ennaltaehkäisyyn. (Wiltshire 2015)

Vikojen havainnoinnin tehostamiseksi ja suureiden välisten yhteyksien huomioimiseksi rajat voivat olla myös lineaarisia, jolloin hälytys tulee kun mitattu suure on lineaaristen

ala- ja ylärajojen välisen alueen ulkopuolella. Lineaariset rajat määritellään toisistaan riippuvien suureiden välisen suhteen perusteella. Jotta pystytään huomioimaan myös muutokset kuormituksessa eri ajankohtina, on muodostettava tietopohjaisia malleja, jotka huomioivat sekä suureiden vaikutukset että ajankohtien väliset säännönmukaiset kuormitusvaihtelut ja muodostettava rajat kyseisen mallin pohjalta. (Wiltshire 2015) Lisäksi voidaan tutkia hystereesiä, jonka avulla voidaan arvioida mitatun suureen stabiiliutta. Nollapisteen seurannan avulla puolestaan voidaan tehdä johtopäätöksiä laitteen perustilan muutoksesta, eli arvioida esimerkiksi anturin kuntoa. (Heinonkoski 2013)

Toinen vian havainnointitapa rajojen tarkkailun lisäksi on poikkeavuuksien havainnointi. Poikkeavuudet voivat kertoa joko poikkeamista suureen arvossa, tai esimerkiksi mittalaitteiston vioista. Poikkeamat voivat johtua myös siitä että joitain asioita ei ole ymmärretty ja otettu mallia laatiessa riittävästi huomioon. Poikkeamien havainnointi ei ole yhtä herkkä raja-arvojen totuudenmukaisuudelle kuin rajojen tarkkailu, mutta molempien tarkkuus riippuu suoraan mallin tarkkuudesta. (Wiltshire 2015)

Vikojen havainnoinnissa voidaan käyttää myös redundantista vianilmaisua, jolloin tarkkailaan kahden laitteen antamia signaaleja ja vertaillaan niitä toisiinsa. Laitteiden antamien signaalien ja niiden välisten suhteiden samankaltaisuudesta voidaan päätellä niiden toimintakyky. Menetelmä toimii myös kun käytössä on yksi todellisen laitteen signaali ja yksi simuloitu signaali. (Heinonkoski 2013)

4.1.2 Muut teollisuuden alat

Valmistava teollisuus voidaan jakaa karkeasti jatkuviin prosesseihin, sarjavalmistukseen ja yksittäistuotantoon. Jatkuviissa teollisuuden prosesseissa valmistetaan esimerkiksi nesteitä, kaasuja, jauheita tai kiinteistä aineista muokattuja levyjä. Esimerkkejä teollisuusaloista ovat öljyn ja kaasun tuotanto, kemikaaliteollisuus sekä pahvi- ja paperiteollisuus. Tuotteiden valmistustapana jatkuvassa teollisuudessa on usein raakamateriaalin kemiallinen reaktio. (Budampati & Kolavennu 2016)

Jatkuvien prosessien teollisuudessa valmistettava tuote ei ole valvojan nähtävissä valmistusprosessin aikana, jolloin ohjausjärjestelmät ovat erityisen tärkeitä (Budampati & Kolavennu 2016). Jatkuviin prosesseihin liittyvää automaatiota kutsutaan prosessiautomaatioksi (Raivio & Syrjänen 2005). Automaation kulmakivenä on jatkuva synkronoitu tiedon keruu sekä ohjattavan suuren tilan ja epänormaalin toiminnan seuranta, jotta prosessi saadaan pidettyä vakaana. Edellä mainittuihin perustuvat ohjaustoimenpiteet voidaan toteuttaa keskitetysti ohjausjärjestelmässä tai hajautetusti kenttälaitteissa itsessään. (Budampati & Kolavennu 2016)

Yksittäistuotannossa tuotteet valmistetaan komponenteista, jotka on usein valmistettu voimalaitoksissa jatkuvina prosesseina (Budampati & Kolavennu 2016). Teollisuusalan automaatiota kutsutaan kappaletavara-automaatioksi (Raivio & Syrjänen 2005). Auto- ja

elektroniikkateollisuus ovat tämän teollisuuden alan esimerkkejä. Valmistustekniikoina ovat muun muassa hitsaus, koneistus ja poraus. Automaatio on useimmiten toteutettu sarjana loogisia ja toisiaan seuraavia toimintoja hyödyntäen hajautettua ja diskreettiä, eli epäjatkuvaa, anturitietoa sekä esimerkiksi venttiilien, moottoreiden ja muiden sähköisesti ohjattujen laitteiden ulostulosuureita. Ohjelmoitavat logiikat, eli PLC:t (Programmable Logic Controller), toteuttavat ohjaustoimenpiteet. (Budampati & Kolavennu 2016) Kapaletavara-automaatio on keskittymässä tuotantosykliden nopeuttamiseen ja tuotannon nopeaan konfiguroitavuuteen, eli tuotteiden personointiin ja muokattavuuteen (Raivio & Syrjänen 2005).

Sarjatuotannossa tuotetaan esimerkiksi jonkin jatkuvan prosessin erikoistuotetta vähäisempiä määriä (Budampati & Kolavennu 2016). Sarjatuotannon automaatiota kutsutaan panosprosessien automaatioksi. Esimerkiksi elintarviketeollisuus kuuluu tähän teollisuusalaan. (Raivio & Syrjänen 2005) Panosprosessien automaatio sisältää esimerkiksi venttiilien avaamista ja sulkemista, sähkömoottoreiden käynnistystä ja pysäytystä, toimintamallin tai asetusarvon muuttamista ja ohjauksen hienosäätöä. Koska sarjatuotanto sisältää monta eri vaihetta, automaatiojärjestelmän pitää pystyä siirtämään tuotanto seuraavaan vaiheeseen ja myös pitämään prosessi vakaana jokaisen vaiheen sisällä. Toisin kuin yksittäisessä tai jatkuvassa tuotannossa, sarjatuotannossa HMI sallii enemmän käyttäjän osallistumisen prosessin ohjaukseen. (Budampati & Kolavennu 2016)

Teknologian yleistymisen myötä automaatioalalle on syntynyt uusia haasteita ja etenkin liiketoiminnallisten näkökulmien merkitys on kasvanut. Tuotantoa pyritään jatkuvasti tehostamaan esimerkiksi lyhentämällä toimitusaikoja ja lisäksi kysyntä yksilöllistetyille tuotteille ja prosesseille kasvaa, jolloin tarve rinnakkaisille konfiguroitaville toiminnoille kasvaa. Lisäksi vaatimukset reaaliaikaisille toiminnoille edellyttävät tiedonsiirtotekniikoiden kehittämistä ja hajautettuja tuotannon ohjauksen työkaluja. Tuotannon hajauttaminen puolestaan lisää vaatimuksia logistiikan osalta maailmanlaajuisesti. (Raivio & Syrjänen 2005)

Eräillä teollisuuden aloilla, kuten ydinvoimateollisuudessa, säännökset vaativat turvallisuussyistä, että mm. venttiilien kunnonvalvonnan tulee olla mahdollista pää- tai paikallisvalvomoista käsin. Lisäksi kyseinen säännös vaatii että venttiilin asentotieto tulee välittää päävalvomoon. Esimerkiksi edellä mainituissa tilanteissa automaatio on vaatimus eikä vain lisäarvo esimerkiksi prosessin käyttäjälle tai tuotannon ohjaajalle. (STUK 2008)

Kunnossapito on erittäin tärkeässä roolissa teollisuudessa ja sillä on suuri merkitys teollisuusyritysten liiketoiminnalle. Kunnossapito on tärkeä osa-alue niin prosessi- kuin rakennusautomaatiossakin. Kunnossapidon avulla pystytään lisäämään järjestelmän luotettavuutta ja sen tärkeimpinä tavoitteina voidaan pitää komponenttivikojen ja prosessihäi-

riöiden minimointia. Vikoja analysoimalla ja syiden selvittämisen avulla pystytään hoitamaan korjaavat toimenpiteet ja mahdollisesti myös ennakoimaan vikojen syntyä. (Heinonkoski 2013)

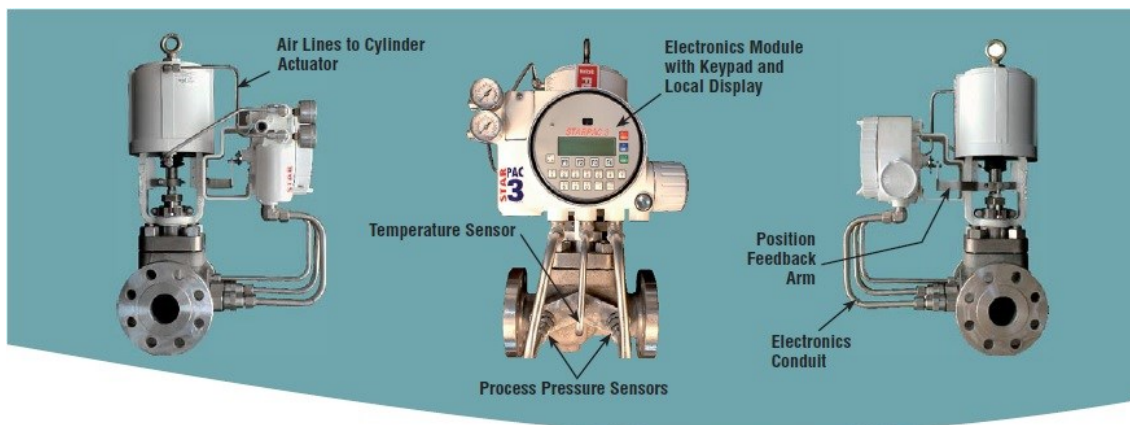
Kunnossapitoa on olemassa reaktiivista, eli korjaavaa, ennakoivaa ja ehkäisevää, ennustavaa ja uusivaa. Reaktiivisen kunnossapidon tavoitteena on korjata jo ilmennyt vika ja palauttaa järjestelmä ennalleen, kun taas ennakoivan kunnossapidon tavoitteena on estää vian ilmeneminen ennalta. Tällöin hyödynnetään kerääntynyt tieto häiriöistä ja käytetään sitä hyväksi suunniteltaessa ennalta ajoitettuja kunnossapidon toimenpiteitä. Ennustava kunnossapito on tarkempi versio ennakoivasta, joka perustuu tarkkaan ja systemaattiseen mittaamiseen sekä historiaperusteiseen analyysiin, laskentaan ja kokemukseen. Prosessien muuttuessa tai automaatiojärjestelmien vanhetessa voi tulla kyseeseen järjestelmien uusinta, joka on erittäin työläs prosessi, mutta muutokset parantavat yleensä järjestelmien laatua ja tuottavuutta, jolloin niistä tulee kannattavia. (Heinonkoski 2013)

4.2 Älykäs venttiili

Tuotantolaitosten, kuten ydinvoimalaitosten, turvallisuus- ja luotettavuusvaatimusten täyttämiseksi on erittäin tärkeää varmistaa venttiilien ja toimilaitteiden vakaa toiminta. Tämä voidaan toteuttaa tehokkaasti venttiilien ja toimilaitteiden toiminnan jatkuvalla valvonnalla käytön aikana. Näin muutokset venttiilien ja toimilaitteiden toiminnassa voidaan huomata ajoissa ilman prosessien keskeyttämistä, ja näin varmistaa tuotantolaitosten jatkuva toiminta ja välttää ylimääräisiltä seisokeilta. (Areva GmbH 2015)

4.2.1 Flowserve - Starpac 3

Flowserve Corporation on kehittänyt istukkaventtiilinsä ympärille kokonaisuuden, jota voidaan kutsua älykkääksi ohjausjärjestelmäksi. Kokonaisuuden avulla voidaan alentaa tuotantolaitoksen kustannuksia. Kokonaisuus (kuva 21) soveltuu käytettäväksi useiden teollisuuden prosessien ohjaukseen, esimerkiksi elintarviketeollisuuteen, kemian teollisuuteen, paperiteollisuuteen, metalli- ja kaivosteollisuuteen sekä kattilasovelluksiin. (Flowserve Corporation 2007)



Kuva 21. StarPac 3 älykäs prosessinohjausjärjestelmä (Flowserve Corporation 2007).

Yhdistetyn venttiilin ja prosessinohjausjärjestelmän tuotenimi on StarPac 3 ja se sisältää säätöventtiilin tarkalla digitaalisella asennoittimella, asentolähettimellä ja toimilaitteen paineantureilla, sisäänrakennetut anturit lämpötilalle sekä paineille ennen ja jälkeen venttiilin sekä mikroprosessorin ohjaimen. Sisäänrakennettujen antureiden avulla voidaan vähentää viiveitä prosessinohjausjärjestelmässä huomattavasti, jolloin saavutetaan prosessissa suuret säästöt. Lisäksi sisäänrakennettujen sensoreiden avulla putkistossa ei tarvita erillisiä haaroja antureita varten, eivätkä myöskään pitkät suorat putkistot ole tarpeen, toisin kuin tavanomaisissa järjestelmissä. (Flowserve Corporation 2007)

StarPac 3 sisältää PID-säätimen (Proportional Integrative Derivative), jonka avulla on mahdollista ohjata prosessissa kaasujen ja nesteiden virtausta, tulo- ja lähtöpuolen paineita, paine-eroa sekä lämpötilaa. PID-säädin koostuu kolmesta toiminnosta. Lisäksi järjestelmään voidaan lisätä antureita muiden prosessisuureiden ohjaamiseksi. Kokonaisuuteen sisältyy StarTalk XP-ohjelmisto, jonka avulla on mahdollista konfiguroida ja kalibroida järjestelmää, tarkastella hälytys- ja virhetietoja sekä eri suureiden tilatietoja reaaliajassa ja hienosäätää järjestelmän toimintaa. Ohjelmiston avulla on mahdollista myös tarkastella eri suureiden kuvaajia, esimerkiksi pumpun tai venttiilin toiminnasta, ja niitä on myös mahdollista vertailla keskenään poikkeavuuksien havaitsemiseksi. Lisäksi ohjelmisto laskee monia suureita, kuten venttiilin kitkan koko iskunpituudelta. (Flowserve Corporation 2007)

Järjestelmässä on useita vaihtoehtoja asetusarvojen määrittelyä varten. Asetusarvot voidaan esiohjelmoida järjestelmään, jolloin ei tarvita ulkoista tiedonsiirtoa, ne voidaan asettaa paikallisesti venttiilin näytöltä tai ne voidaan asettaa esimerkiksi DCS:n tai kannettavan tietokoneen välityksellä digitaalisen tai analogisen signaalin avulla. (Flowserve Corporation 2007)

4.2.2 Areva – ADAM® ja SIPLUG®

Areva GmbH on kehittänyt venttiilien ja toimilaitteiden valvontaan ja diagnostiikkaan SIPLUG®4-modulin. SIPLUG®4-moduli voidaan kytkeä sähkökeskukseen venttiilin sähkönsyöttölähtöön tai sitä voidaan käyttää irrallisena kokonaisuutena, jolloin se voidaan kytkeä suoraan venttiilin sähkönsyöttökaapeliin. Nämä ominaisuudet tekevät kokonaisuuden lisäämisen olemassa oleviin venttiileihin tai toimilaitteisiin helpoksi. (Areva GmbH 2015)

SIPLUG®4 Online -moduulin avulla kaikki venttiilien ja toimilaitteiden toiminnot ja tilatiedot tallentuvat automaattisesti ja ovat jatkuvasti valvomoissa tuotantolaitosten henkilökunnan käytettävissä ja analysoitavissa. Moduuli sisältää Ethernet-kytkentämahdollisuuden nopeaa tiedonsiirtoa varten. ADAM® -ohjelmisto yhdistettynä SIPLUG®4-moduliin mahdollistaa täysin automatisoidun venttiilin toiminnan arvioinnin ja määrittämisen jokaisena hetkenä. Tämän avulla on mahdollista saada automaattisesti täysi määrittäminen venttiilin tilatiedoista. Ohjelmiston avulla on myös mahdollista tarkastella raportteja jälkikäteen, mikäli venttiilin liikkeen aikana on tapahtunut jotain normaalia poikkeavaa. (Areva GmbH 2015)

Toinen suuri etu ADAM® -ohjelmiston ja SIPLUG®4-modulin yhdistämisessä on, että niiden avulla on mahdollista tarkkailla staattisia trendejä venttiilien ja toimilaitteiden toiminnassa. Tämä mahdollistaa kuntoon perustuvan huollon ja toimintavikojen aikaisen havaitsemisen. Huoltokustannukset vähenevät ja henkilökunnan työaikka vähentyy, kun ei tarvita kunnonvalvontaa prosessialueella, vaan kaikki hoituu yhdestä ja samasta sähkökeskuksesta. (Areva GmbH 2015)

5 AUTOMAATIOTASON JA AUTOMAATION LISÄÄMISTARPEEN MÄÄRITTELY

Automaation hyödyntäminen on viime aikoina lisääntynyt kiihtyvällä vauhdilla eri yhteiskunnan osa-alueilla. Nykypäivänä voimalaitokset voivat olla miehittämättömiä, eli täysin automatisoituja, kuten on aiemmin kerrottu luvussa 4. Täysin automatisoidussa voimalaitoksessa ei ole lainkaan henkilökuntaa paikalla laitoksen ollessa normaalisti toiminnassa. Tämän tutkimuksen yleinen tavoite oli selvittää, onko myös kaukolämpöverkkojen puolella tarvetta automaation lisäämiselle, eli esimerkiksi älykkäälle ohjaukselle ja mittausten lisäämiselle verkkoon. Lisäksi tavoitteena oli selvittää älykkäiden ratkaisujen nykytilaa kaukolämpöverkoissa. Muuan muassa edellä luvussa 4 mainituista syistä tutkimusoletuksena eli hypoteesina voitiin pitää sitä, että älykkäille ratkaisuille olisi tarvetta kaukolämpöverkoissa.

5.1 Tavoitteet ja toteutus

Keskeisenä näkökulmana oli tutkia kaukolämpöverkon venttiilejä ja niiden ohjausta, sillä venttiilien avulla ohjataan käytännössä koko kaukolämpöverkkoa. Lisäksi tutkittiin kokemuksia ja käsityksiä siitä, millaisia suureita kaukolämpöverkoista ja venttiileistä voidaan mitata ja miten kyseisiä suureita voidaan hyödyntää älykkäässä ohjauksessa. Kiinnostuneita oltiin myös syistä älykkäiden ratkaisujen lisäämisen tai lisäämättä jättämisen taustalla. Tulosten perusteella olisi mahdollista kehittää ratkaisuja energiayhtiöiden liiketoiminnan kehittämiseksi. Päättökysymyksiä olivat seuraavat:

1. Millaisia älykkäitä ratkaisuja kaukolämpöverkoissa on käytössä?
2. Millaisille älykkäille ratkaisuille kaukolämpöverkoissa olisi tarvetta ja miksi?

Mahdollisia tutkimusmenetelmiä oli kaksi; kvantitatiivinen, eli määrällinen, ja kvalitatiivinen, eli laadullinen, tutkimus (Eskelinen & Karsikas 2014). Kaukolämpöverkkojen automaation lisäämistarpeen määrittelyä varten päädyttiin kvalitatiiviseen tutkimukseen, sillä tarkoituksena oli selvittää tutkimusongelmaan liittyviä konteksteja eli pohtia älykkäiden ratkaisujen tarvetta (Eskelinen & Karsikas 2014). Lisäksi tutkimus oli induktiivinen, eli eteni henkilökohtaisista alalla päivittäin työskentelevien henkilöiden käsityksistä yleisen käsityksen muodostamiseen (Hirsjärvi & Hurme 2000).

Kvantitatiivisessa tutkimuksessa testataan teorioita hypoteesien avulla kvantitatiivista aineistoa käyttäen ja tutkimus sisältää myös usein numeerisia tarkasteluja (Eskelinen & Karsikas 2014). Lähestymistapa on kvantitatiivisissa tutkimuksissa usein deduktiivinen,

eli etenee yleisestä yksityiskohtaiseen (Hirsjärvi & Hurme 2000). Edellä mainituista syistä kvantitatiivinen tutkimus ei sopinut tämän tutkimuksen menetelmäksi.

Tutkimuksen strategia oli fenomenografinen, eli tarkoituksena oli kuvata automaation lisäämistarvetta kaukolämpöverkoissa ilmiönä ja tutkia asianosaisten käsityksiä asiasta (Karjalainen et al. 2006). Koska tutkimuksen tarkoituksena oli kartoittaa automaation lisäämistarvetta kaukolämpöverkoissa ja eritoten ihmisten kokemuksia aiheesta ja sijoittaa heidän käsityksiään laajempaan kontekstiin, päädyttiin keräämään aineistoa haastattelemalla (Hirsjärvi & Hurme 2000).

Tutkimuksessa käytettiin teemahaastattelua, sillä haastattelu kohdistui ennalta valittuun teemaan, kaukolämpöverkkojen automaatioasteen nykytilaan ja kehitystarpeisiin. Teemahaastattelun lähtökohtana on se, että haastatellut ovat kokeneet saman tilanteen. (Hirsjärvi & Hurme 2000) Tässä tapauksessa haastateltuja yhdisti yhteinen työympäristö ja energia-ala. Teemahaastatteluun kuuluu myös perehtyminen aiheeseen ennen haastattelua (Hirsjärvi & Hurme 2000). Tutkimusaiheeseen on perehdytty luvuissa 2 - 4, jotta voitiin päätyä oletuksiin tutkimuksen määäävistä piirteistä.

Perehtymisen jälkeen pystyttiin muodostamaan haastattelurunko ja suuntaamaan haastattelut haastateltujen henkilöiden kokemuksiin aiheesta. Haastattelurunko (liite B) muodostettiin käyttäen apuna tutkimusta varten käsiteltyä taustateoriaa sekä Vexven henkilökunnalta saatuja neuvoja ja sitä päivitettiin haastattelujen edetessä vastaamaan saatuja tuloksia. Koska eri energiayhtiöiden edustajia oli joissakin tapauksissa haastateltavana enemmän kuin yksi kerralla, haastattelumuotona oli arvioiva täsmäryhmähaastattelu. Arvioivan täsmäryhmähaastattelun periaatteena on, että haastatellut kertovat tuntemuksiaan tutkimusaiheeseen liittyen ja että haastateltuja voi olla kerralla enemmän kuin yksi (Hirsjärvi & Hurme 2000).

Energiayhtiöiden edustajiin otettiin yhteyttä sähköpostitse, kyseinen sähköposti löytyy liitteestä A, ja halukkaiden osallistujien kanssa sovittiin tapaaminen. Tapaamiset toteutettiin energiayhtiöiden tiloissa ja jokaiseen haastatteluun kului aikaa tunnista kahteen tuntiin. Tapaamisen aluksi haastatelluille kerrottiin, mikä on tutkimuksen aihe ja mihin tarkoitukseen tutkimustuloksia käytetään sekä että heidän henkilöllisyytensä ja myös energiayhtiön nimi säilyy salattuna koko tutkimuksen ajan. Haastattelut äänitettiin dokumentoinnin ja tulosten analysoinnin helpottamiseksi, ja tähän saatiin myös jokaiselta haastatellulta lupa.

Haastattelut toteutettiin syksyllä 2017. Tutkimuksen kohderyhmä rajattiin koskemaan energiayhtiöiden edustajia Suomessa. Tutkimuksen kohteena oli viiden eri energiayhtiön edustajia. Edustajia oli yritysten eri funktioista eli niin liiketoiminnan kuin käytön ja kunnossapidon puolelta. Yhdestä energiayhtiöstä tutkimuksen kohteena oli yhdestä kahteen

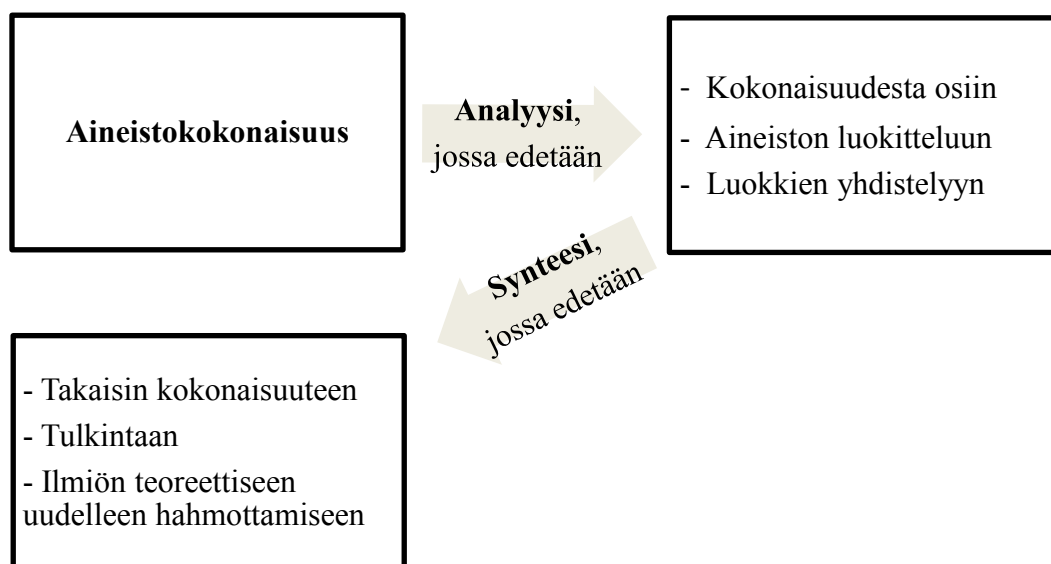
henkilöä ja yhteensä haastatteluun osallistui kuusi henkilöä viiden energiayhtiön eri toiminnoista. Haastatteluun osallistuneiden henkilöiden ikähaarukka oli noin 25 - 60 vuotta.

Tutkimukseen osallistui erikokoisia energiayhtiöitä eri puolilta Suomea, niin tiuhaan kuin harvaankin asutuilta alueilta. Haastatelluista energiayhtiöistä kolme oli hieman harvempaan asutulta alueelta ja kaksi kaupunkialueelta. Yhtiön koosta ja vaikutusalueen elinkeinorakenteesta riippuen kaukolämmön kuluttajarakenne vaihteli huomattavasti. Harvaan asutuilla alueilla suurin osa kuluttajista oli asuinrakennuksia, tiheästi asutuilla alueilla kerrostaloja ja liiketiloja ja kunnissa, joissa oli paljon teollisuutta, muodostivat teollisuusasiakkaat suuren osan. Eri energiayhtiöiden kaukolämpöverkkojen ikä myös vaihteli, toisten yhtiöiden verkot oli rakennettu 1960-luvulla ja toisten 2000-luvulla. Kahdella haastatellulla energiayhtiöllä oli myös muutamia kymmeniä kilometrejä kaukokylmäverkkoa.

Suurin osa haastatelluista energiayhtiöistä oli kokonaisuudessaan kuntien omistuksessa, yhdestä yhtiöstä osan omisti myös yksityinen sektori. Kaikissa yhtiöissä liiketoimintaan kuului lämmönsiirron lisäksi myös energiantuotanto, vähintään voimalaitosten osaomistuksen tai energiakonsernin sisäisen yhteistyön kautta. Tällöin joidenkin haastateltujen yhtiöiden liiketoimintaan kuului myös sähkönsiirto. Energiayhtiöiden automaatioaste vaihteli, joidenkin yhtiöiden kaukolämpöverkoissa oli jo käytössä useitakin älykkäitä ratkaisuja ja toisilla niitä ei juuri ollut käytössä.

5.2 Analysointimenetelmät

Aineiston käsittelyn keskeiset osat ovat analyysi ja synteesi. Analyysivaiheessa aineistoa eritellään ja luokitellaan, kun taas synteessin tarkoituksena on luoda kokonaiskuva tutkitavasta ilmiöstä. (Hirsjärvi & Hurme 2000) Kuva 22 esittää aineiston käsittelyn vaiheet haastattelututkimuksessa. Tässä tutkimuksessa aineiston tulkinnassa käytettiin sekä induktiivista, eli aineistolähtöistä, että abduktiivista päättelyä, eli teoreettisten johtoeidojen, joita on esitelty luvun 5 alussa, todentamista aineiston avulla. (Hirsjärvi & Hurme 2000)



Kuva 22. Aineiston käsittelyn vaiheet analyysistä synteysiin (Hirsjärvi & Hurme 2000).

Vaikka haastateltuja oli määrällisesti vähän, aineistoa syntyi tutkimuksessa runsaasti, sillä haastattelutilanteessa käytiin avointa keskustelua tutkimuksen teemoista. Aineistoa analysoitiin jo haastattelutilanteessa, ja haastattelukysymyksiä tarkennettiin esimerkiksi toistuvasti esiin nousseiden ilmiöiden pohjalta. Aiempien haastattelujen pohjalta haastattelurunkoa muokattiin seuraaviin haastatteluihin.

Ensimmäinen vaihe aineiston analyysissä oli aineiston purkaminen. Aineistoa lähdettiin purkamaan litteroimalla, eli kirjoittamalla aineisto puhtaaksi. (Hirsjärvi & Hurme 2000) Haastatteluaineisto kuunneltiin äänitteiltä ja kirjoitettiin auki. Haastatteluista litteroitiin vain merkittävimmät osat. Koko keskusteluja ei kirjoitettu auki, sillä keskustelu siirtyi ajoittain pois tämän tutkimuksen käsittelemistä teemoista. Tämän jälkeen aineisto sisäistettiin lukemalla sitä läpi aktiivisesti.

Aineistoa analysoitiin viidellä eri tavalla. Aineiston luokitteluvaiheessa, jota voidaan kutsua myös teemoitteluksi, muodostettiin luokkia. Luokilla tarkoitetaan tärkeitä ja yleisiä teemoja, jotka aineistosta on poimittu. Niillä on jokin yhteys aineistoon ja myös empiirinen pohja. Luokittelun avulla tuotiin esiin aineiston rakentuminen. Luokittelun jälkeen aineistoa selvennettiin, eli aineistosta eliminointiin pois tutkimuksen teemoihin kuulumattomia osioita sekä epäoleellisia osioita. (Hirsjärvi & Hurme 2000)

Luokittelun jälkeen pohdittiin luokkien välisiä yhteyksiä, säännönmukaisuuksia, samankaltaisuuksia ja eroavaisuuksia. Tyypittely on eräs yhteyksien tarkastelun menetelmä ja se tarkoittaa luokkien ryhmittelyä niiden yhteisten piirteiden perusteella. Muita yhteyksien tarkastelun menetelmiä ovat ääriyhmät ja poikkeustapaukset. Ääriryhmillä tarkoite-

taan vastakkaisten luokkien muodostamista yhden tai useamman seikan perusteella. Ääriyhmien avulla pystyttiin tarkastelemaan tutkimuksen kontrasteja. Poikkeustapauksilla tarkoitetaan kaavoista poikkeavia tapauksia, joiden johdosta jouduttiin tutkimaan aineistoa uudesta näkökulmasta ja miettimään esimerkiksi yleistyksiä uudelleen. Poikkeustapauksilla on yleisesti suuri merkitys aineiston analyysille, kuten niillä oli myös tässä tutkimuksessa. (Hirsjärvi & Hurme 2000)

Analyysimuotona käytettiin myös laskemista, eli teeman säännönmukaisuutta ja toistuvuutta kuvattiin laskemalla sen esiintymiskerrat aineistossa. Aineistoa myös asteikoitiin, eli teemat luokiteltiin määriteltyjen ominaisuuksien perusteella, jolloin niiden tarkastelu suhteessa toisiinsa helpottui. Eräänä yhteyksien tarkastelun ja asteikoinnin yhdistävänä erikoistapauksena voidaan pitää kehityskulun tarkastelua. Tässä analysointimenetelmässä tarkastellaan teemojen järjestystä tai yhtä teemaa useampana ajankohtana. Tämän avulla pystyttiin kartoittamaan aikajanaa kaukolämpöverkkojen iälle. (Hirsjärvi & Hurme 2000)

6 ÄLYKKÄÄT RATKAISUT KAUKOLÄMPÖVERKOISSA NYT JA TULEVAISUUDESSA

Haastatteluiden avulla saadut tulokset olivat melko yksimielisiä ja vastasivat hyvin pitkälti luvussa 5 esitettyä hypoteesia, jonka mukaan myös kaukolämpöverkoissa olisi tarvetta automaation lisäämiselle. Kuitenkin perustelut tulosten taustalla olivat monipuolisia. Eri energiayhtiöillä oli samankaltaisia näkemyksiä siitä, millaisia älykkäitä ratkaisuja kaukolämpöverkossa tarvittaisiin sekä myös niiden merkityksestä yhtiöille. Jokainen energiayhtiö toi kuitenkin esille myös toisistaan poikkeavia näkökulmia ja toiveita. Lisäksi energiayhtiöillä oli jo käytössä yhtiöstä riippuen enemmän tai vähemmän erilaisia älykkäitä ratkaisuja.

Energiayhtiöiden tarpeisiin vastatakseen Vexve on osana tuotekehitysprojektia kehittänyt yhdessä yhteistyökumppaneidensa kanssa prototyypin anturoidusta venttiilielementistä, joka sisälsi pääsulkuventtiilin, ohitusventtiilin ja ilmausventtiilien lisäksi eri suureiden mittaukseen tarkoitettuja mitta-antureita sekä mittaustiedon siirtämiseen ja tallentamiseen tarvittavia teknologioita. Prototyypin avulla mittaustietoa voidaan lukea helposti etänä mistä ja milloin tahansa.

6.1 Kuluttajien tarpeet

Viiden eri energiayhtiön edustajien kanssa käytyjen keskustelun perusteella saatiin monipuolinen käsitys siitä, millaisia älykkäitä ja automaattisia ratkaisuja suomalaisissa kaukolämpöverkoissa on tällä hetkellä käytössä ja millaisista ratkaisuista oltaisiin kiinnostuneita tulevaisuudessa. Lisäksi saatiin selville millaisia liiketoiminnallisia vaikutuksia älykkäillä ratkaisuilla olisi energiayhtiöille ja millaisia vaikutuksia niillä olisi käytön ja kunnossapidon näkökulmasta.

6.1.1 Nykytilanne

Jokainen haastatteluun osallistuneista energiayhtiöistä, joiden liiketoimintaan kuuluu myös energiantuotanto, kertoi panostaneensa uusiutuvien ja paikallisten polttoaineiden käyttöön kaukolämmön tuotannossa. Myös ne haastatellut yhtiöt, joiden liiketoimintaan ei suoranaisesti kuulu energiantuotanto, kertoivat että heidän kaukolämpöverkkoonsa lämpöä tuottavilla voimalaitoksilla käytetään myös enenevissä määrin uusiutuvia polttoaineita energianlähteenä. Uusiutuvia polttoaineita ovat muun muassa puuperäiset polttoaineet, kuten hake. Myös vesivoima ja tuulivoima ovat yleistyneet alueilla, joissa niiden käyttöön on edellytykset. Lisäksi biokaasulaitokset ovat yleistyneet ja eräs haastateltu yhtiö kertoikin käyttävänsä alueen maataloudelta saatavaa lantaa voimalaitoksen polttoaineena.

Lisäksi voimalaitosliiketoiminnassa mukana olevat yhtiöt kertoivat investoineensa lämmöntalteenottoteknologioihin tuotantolaitosten hyötysuhteen parantamiseksi. Tällaisia investointeja ovat olleet muun muassa savukaasupesurit ja lämmöntalteenotto jätevesistä vedenpuhdistamoilla. Lisäksi energiayhtiöt kertoivat kiinnittävänsä huomiota tuotantolaitosten aiheuttamiin päästöihin ja ympäristömeluun, etenkin voimalaitoksen sijaitessa taajama-alueella.

Eräällä haastatellulla energiayhtiöllä on useita edistyksellisiä ja normaalista poikkeavia uusia tekniikoita käytössään niin energiantuotantolaitoksissa kuin lämmönsiirto- ja jakeluverkossakin. He ovat pohtineet muun muassa biokaasun käyttöä kaukolämpöverkon väliaineena veden sijasta, mutta eivät ole vielä edenneet toteutukseen asti. Heillä on lisäksi käytössään hybridivoimalaitoksia, eli kahta energianlähdettä yhdistäviä voimalaitoksia, jotka heidän mukaansa ovat yleistymässä alalla. Esimerkkinä hybridienergiantuotannosta he kertoivat, että heillä on kaukolämpöverkossaan käytössä aurinkokeräimiä lämpöenergianlähteenä voimalaitosten lisäksi. Toinen haastateltu energiayhtiö käyttää kaukolämpöverkon polttoaineena teollisuuslaitoksen prosesseissa syntynyttä hukkalämpöä, jolloin parannetaan sekä teollisuuslaitoksen, että voimalaitoksen energiatehokkuutta.

Rakennustekniikan kehittyessä ja ilmaston lämpenemisen myötä lämmitystä tarvitaan koko ajan vähemmän. Eräs haastateltu kuitenkin uskoo, että Suomessa energiatasapaino säilyy eli mikäli ei tarvita lämmitystä, tarvitaan todennäköisesti jäähdytystä. Aurinkoenergia ei tule Suomessa koskaan olemaan pääenergiamuoto, sillä sitä ei ole saatavilla ympäri vuoden. Tuulienergian tuotanto saattaisikin Suomessa riittää tarvittavan lämpöenergian tuottamiseen, sillä Suomessa tuulee ympäri vuoden. Tuulivoiman kanssa ongelmaksi nousevat kuitenkin melu ja lisäksi tuulivoimala on melko hallitseva kokonaisuus maisemassa.

Jokaisen haastatellun energiayhtiön edustajan mukaan päätuotantolaitokset ovat Suomessa hyvin pitkälti automatisoituja. Eräs haastateltu kertoi, että yhtiön päävoimalaitoksen automaatioaste on noin 90 %. Myös varavoimalaitoksilla on haastattelujen perusteella käytössä paljon automaattisia ratkaisuja. Lähes kaikkien haastateltujen energiayhtiöiden kaikki tuotantolaitokset ovat käytettävissä yhdestä tai useammasta päävalvomosta käsin. Päävalvomot sijaitsevat usein suurien tuotantolaitosten yhteydessä, jolloin niitä voi päätuotantolaitosten määrästä riippuen olla yksi tai useampia.

Myös varavoimalaitokset on liitetty päävoimalaitosten yhteydessä sijaitseviin valvomoihin lähes kaikissa haastatelluissa energiayhtiöissä. Eräässä haastatellussa energiayhtiössä varavoimalaitoksen käyttö edellyttää kuitenkin käyntiä varavoimalaitoksen omassa valvomossa tietoturvasyistä. Kaikki haastatellut kertoivat, että päävalvomossa on jatkuvasti

käyttöhenkilökuntaa paikalla ja päivystävä huoltohenkilökunta on kutsuttavissa vuototilanteessa paikalle vuorokauden ympäri. Varavoimalaitoksilla ei ole jatkuvaa miehitystä, vaan siellä käydään vain tarkastuksissa ja hätätilanteissa.

Erään haastatellun mukaan kaupungissa, jossa sijaitsee suuri voimalaitos, siirto- ja jakeluverkko on herkkä suurille vuodoille suurien putkikokojen käytön johdosta. Suurista vuodoista voi seurata voimalaitoksen sammuminen esimerkiksi vuodosta johtuvan tehopiikin johdosta. Mikäli voimalaitos sammuu, kokonainen kaupunki voi jäädä ilman lämpöä ja kuluttajat saattavat joutua olemaan pitkiäkin aikoja ilman lämpöä. Haastateltujen mukaan voimalaitoksen sammuminen ei ole missään tapauksessa toivottu tilanne energiayhtiöille, sillä energiantuotanto katkeaa, kuluttajatytyväisyys heikkenee ja ylimääräisiä kustannuksia syntyy huomattavasti. Kustannuksia syntyy muun muassa voimalaitoksen käynnistämisestä, kaukolämpöverkon täytöstä, laskutuksen menetyksestä ja verkon korjauskustannuksista. Korjauskustannukset sisältävät aina raaka-ainekustannusten lisäksi maanrakennustöistä ja urakoinnista syntyviä kustannuksia.

Haastatellut kertoivat, että kaukolämpöverkkoihin suunnitellaan varavoimalaitoksia ja lämpöakkuja voimalaitoksen sammumisen estämiseksi. Varavoimalaitosten avulla voidaan kompensoida vikatilanteessa tapahtuvaa tehopiikkiä tuottamalla hetkellisesti lisää tehoa siirto- ja jakeluverkkoon. Haastatteluista kävi ilmi, että voimalaitosten sammumisriskin takia kaukolämpöalalla on tärkeää, että varavoimalaitokset riittävät tuottamaan tarvittavan lämpöenergian vuototilanteissa. Varavoimalaitosten avulla saadaan lisää aikaa esimerkiksi erottaa vuotokohta verkosta tai korjata vuoto ilman, että päävoimalaitos sammuu. Tällöin varavoimalaitosten avulla pystytään parantamaan kaukolämmön toimitusvarmuutta kuluttajille.

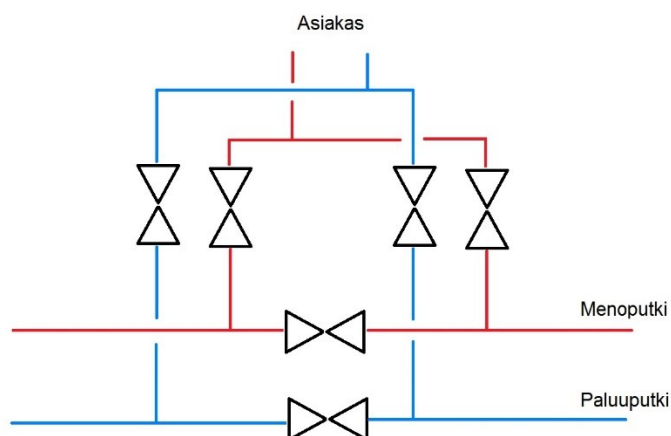
Monella energiayhtiöllä varavoimalaitokset on mitoitettu siten, että niiden tuottama yhteenlaskettu teho on lähes yhtä suuri kuin päävoimalaitoksen kokonaisteho. Varautuminen on haastattelujen perusteella kaukolämpöalalla paljon laajempaa kuin muilla lämmitysalloilla ja varautumiseen liittyen on olemassa myös säännöksiä. Varautuminen johtuu siitä, että kaukolämmön avulla lämmitetään kriittisiä kohteita, kuten sairaaloita. Haastatellut kertoivat myös, että varautumiseen liittyy varavoimalaitoksien lisäksi myös polttoaineen varastointi. Varavoimalaitokset ja polttoaineen varastointi lisäävät energiayhtiöiden pääomaan kiinnittyneitä kustannuksia.

Haastatellut kertoivat, että kaukolämpöputkistot sijaitsevat usein joko ajo- tai kävelyteiden alla. Siksi niin saneerauksen kuin uuden putkiston rakentamisenkin yhteydessä energiayhtiöiden kannattaa tehdä yhteistyötä kaupungin kanssa, jotta pystytään ajoittamaan kaukolämpöön liittyvät maanrakennustyöt samaan yhteyteen kuin tien asfaltointi, muu korjaustyö tai uuden tien rakentaminen ylimääräisen työn välttämiseksi. Saneerauksella tarkoitetaan vanhan verkon uusimista ja korjaamista. Toisaalta kun tehdään uusia teitä

paikkoihin, joissa kulkee jo ennestään lämmönsiirtoputkisto, tulee ottaa huomioon putkiston ja tien väliin jäävän maa-alan kantavuus. Mikäli tie rakennetaan siten, että tien pinnan ja putkiston väliin jäävä maa-alan kantavuus ei ole riittävä, saattaa energiayhtiöille syntyä putkiston saneeraustarve. Energiayhtiöt joutuvat tällaisissa tapauksissa siirtämään putkistoa syvemmälle, jotta varmistetaan, ettei tiellä kulkevien ajoneuvojen paino vahingoita kaukolämpöputkistoa.

Energiayhtiöiden ja kaupungin välisen yhteistyön avulla pystytään haastateltujen mukaan välttämään teiden ylimääräistä avaamista ja asfaltointitöitä, jolloin vältetään ylimääräisiltä liikenteen keskeytyksiltä. Näin säästetään sekä kustannuksia että aikaa. Ylimääräisistä kaukolämmöstä johtuvista tietöistä saattaa lisäksi syntyä tyytymättömyyttä kuluttajien keskuudessa. Erään energiayhtiön edustajan mukaan lämmönsiirtoputkistoja sijoitetaan mahdollisuuksien mukaan jalkakäytävien alle, sillä jalankulkijoilla on usein enemmän vaihtoehtoisia kulkuväyliä maanrakennustöiden ajaksi. Jalankulkijat voivat kulkea esimerkiksi toisella puolella ajotietä, jolloin kaukolämpötyömaasta ei ole niin paljon haittaa.

Jokaisella haastatellulla energiayhtiöllä on kaukolämpöverkossaan ainakin osittain silmukoitu rakenne. Silmukoidussa rakenteessa verkko muodostaa renkaita, joihin lämpöä voidaan syöttää kahdesta suunnasta. Silmukoidun kaukolämpöverkon periaatteellinen rakenne on esitetty kuvassa 23. Tällöin lämpöä pystytään syöttämään molemmille puolille renkaasta erotettua osiota vuototilanteessa, jossa osa renkaasta on erotettu verkosta sulkemalla venttiilit vuotokohdan molemmilta puolilta. Näin pystytään varmistamaan lämmöntuotto kuluttajille etenkin kriittisissä kohteissa, kuten palvelukodeissa ja sairaaloissa. Haastatteluissa kävi myös ilmi, että kuluttajien lämmönsaannin varmistus kahdelta suunnalta silmukaverkkojen avulla on myös lisääntymässä tulevaisuudessa esimerkiksi saneerauksien yhteydessä.



Kuva 23. Silmukoitu kaukolämpöverkkorakenne.

Silmukoidun kaukolämpöverkkorakenteen huonona puolena saattaa syntyä haastateltujen mukaan niin sanottu hullun kierto. Hullun kierrolla tarkoitetaan tilannetta, jossa veden virtauksen suuruus silmukassa ei ole riittävä ja renkaan loppupisteessä virtaamien koh-
tauspaikassa virtaukset jäädyttävät toisiaan. Tällainen tilanne voi tulla kyseeseen eten-
kin kesäaikaan, kun lämpökuorma on hyvin alhainen. Kun verkko jäähtyy, voimalaitok-
sen päässä pumppaustehoa kasvatetaan, vaikka todellisuudessa tarvetta tähän ei olisi.
Mitä suurempi kaukolämpöverkon putkikoko on, sitä suurempi on todennäköisyys hullun
kierrolle.

Eräässä haastattelussa energiayhtiössä toimitaan tällaisissa tapauksissa siten, että silmu-
kan katkaisemiseksi venttiilit käydään sulkemassa keväällä manuaalisesti ennalta määri-
tellyn vuorokauden keskilämpötilan ylityttyä. Tällöin ohitusventtiilit tulee avata, jotta vir-
taus putkistossa säilyy eivätkä putkirakenteet pääse jäähtymään. Syksyllä venttiilit taas
avataan manuaalisesti määrätyn vuorokauden keskilämpötilan alituttua. Hullun kiertoja
voidaan ehkäistä myös etukäteen onnistuneella verkon suunnittelulla.

Haastatteluissa selvisi, että lämmönsiirto- ja jakeluverkkoa ohjataan usein verkon kauim-
man pisteen paine-eron perusteella, jotta kauimmassa pisteessä olevalle kuluttajalle pys-
tytään tuottamaan tarpeeksi lämpöenergiaa. Eräs haastateltu kertoi, että heidän lämmön-
tuotantoprosessiaan ennustetaan lisäksi säähän perustuen siten, että tulevaa säätä seura-
taan kahdesta kolmeen vuorokauteen etukäteen ja ennusteen perusteella varaudutaan voi-
malaitoksella.

Haastatellut kertoivat, että kauimmassa pisteessä sijaitsevan välIASeman lämmönjakohuo-
neessa on usein riittävän tehon varmistamiseksi paine-eroanturi, jolta tulee valvomoon
hälytys paineen tippuessa sallittujen rajojen alapuolelle. Paine-eroanturit on sijoitettu mit-
tauskeskuksiin välIASemien lämmönjakohuoneisiin. Hälytyksen tullessa valvomossa voi-
daan lähteä selvittämään, onko syynä paineen putoamiselle vuoto vai tuleeko pumppaus-
tehoa kasvattaa. Kaikilla haastatelluilla paine-eroantureita on muissakin verkon kohdissa
kuin kauimmassa pisteessä, kuitenkin osalla vain välIASemien laitteistoissa. Toisilta mit-
tauksia taas löytyy myös kriittisistä haarakohdista ja osalta niitä löytyy hieman joka puo-
lelta verkkoa, käytännössä jopa jokaisesta haarasta.

Eräs haastateltu energiayhtiön edustaja kertoi myös niin sanotuista paine-erosäätimistä,
joita on sijoitettu kaukolämpöverkoissa kriittisiin kohtiin. Säätimen tarkoituksena on pi-
tää kaukolämpöverkko tasapainossa ja varmistaa, että kaikkialla verkossa on vakio-
paine. Säätö perustuu kuitenkin kokemuseräiseen tietoon eikä jatkuvaan mittaustietoon, mikä
heikentää säädön tarkkuutta. Lisäksi haittapuolena on se, että säädin sijaitsee välIASeman
laitteistossa ja säätimen huolto ja ylläpito aiheuttavat lisätyötä ja kustannuksia kulutta-
jalle. Edellä mainituista syistä niitä ei ole sijoitettu kovin monen välIASeman laitteistoihin.

Jokaisen väliaseman mittauskeskuksesta on lisäksi saatavilla tulo- ja menoveden lämpötilat, sillä energiayhtiöt käyttävät kyseisiä tietoja laskutukseen. Monella kaukolämpöyhtiöllä nämä tiedot ovat luettavissa etänä, kun taas toisilla mittareiden arvot tulee käydä lukemassa manuaalisesti. Noin puolilla haastatelluista yhtiöistä paine-ero-, virtaus- ja lämpötilamittauksia on väliasemien laitteiden lisäksi myös pumppaamoilla ja verkon risteyskohdissa.

Mittauksia on mahdollista seurata päävalvomosta käsin ja myös hälytykset poikkeavista tilanteista saadaan joko valvomoon tai kannettavaan laitteeseen tekstiviestillä tai sähköpostitse. Eräs haastateltu kertoi, että heidän verkossaan on muutamassa haarakohdassa ultraäänimittarit haaraan menevän ja tulevan virtauksen mittaamiseksi. Mikäli suureiden arvot poikkeavat toisistaan, voidaan päätellä, että kyseisessä haarassa on vuoto. Näin voidaan sekä havaita että paikallistaa vuoto. Virtausmittareita ei voida kuitenkaan sijoittaa käännöskohtien läheisyyteen, sillä niissä voi esiintyä kavitaatiota tai turbulenssia. Mittarit tulee siis sijoittaa riittävän kauas käännöskohdasta, jotta virtaus ehtii tasoittua ennen mittaria.

Kaikki haastatellut energiayhtiöiden edustajat kertoivat, että heidän lämmönsiirto- ja jakeluverkoissaan on hyvin vähän etäohjattavia venttiilejä suhteessa verkon kokonaisventtiilimäärään. Suurin osa venttiileistä on käsikäyttöisiä, paikallisesti ohjattavia venttiilejä. Siirto- ja jakeluverkoista löytyvät etäohjattavat venttiilit sijaitsevat useimmiten verkkoa syöttävässä päässä tuotantolaitoksilta lähteissä runkoputkissa tai runkoputkista lähevissä kriittisimmissä haarakohdissa, jotta kaukolämpöverkko pystytään kriisitilanteessa jakamaan osiin. Kaikilla haastatelluilla energiayhtiöillä kaukolämmön siirto- ja jakeluverkon puolella käytössä olevat etäohjattavat venttiilit ovat suurimmaksi osaksi sähkötoimilaitteella ohjattavia venttiilejä, mutta myös pneumaattisia toimilaitteita löytyy. Yleisin Suomessa käytetty sähkötoimilaite on haastattelujen perusteella Auman valmistama.

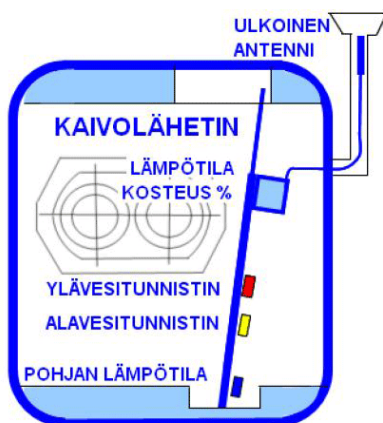
Etäohjattavien venttiilien vähäiseen määrään lämmönsiirto- ja jakeluverkoissa vaikuttaa haastattelujen perusteella se, että etäkäyttöisiä toimilaitteita ei ole ollut saatavilla, kun verkkoa on rakennettu ja niitä on haastateltujen mukaan hankala asentaa venttiileihin jälkikäteen. Sähkötoimilaitteiden asentamista venttiileihin jälkikäteen hankaloittaa etenkin sähkönsyötön järjestäminen kaivoon. Edellä mainituista syistä etäohjattavien venttiilien lisääminen siirto- ja jakeluverkkoihin tulee usein kyseeseen saneerauksen tai uuden verkon rakentamisen yhteydessä. Saneerauksen tai uuden putkiston rakentamisen yhteydessä energiayhtiöt voivat hankkia venttiilit siten, että niihin on valmiiksi asennettu sähkötoimilaitteet. Lisäksi sähkönsyötön tuominen kaivoon on muiden maanrakennustöiden ohella helposti järjestettävissä.

Haastatteluissa selvisi, että kaukolämpöverkoissa tehdään kunnossapidon vuoksi säännöllisesti huoltokäyntejä kaukolämpökaivoissa. Verkon koosta riippuen huoltojen tiheys

vaihtelee. Mitä enemmän kaukolämpöverkossa on venttiilikaivoja, sitä pidemmäksi huoltovälit kasvavat etenkin verkon sivuhaaroissa. Pienissä kaukolämpöverkoissa pyritään huoltokäynnit toteuttamaan kaikissa kaivoissa vuosittain. Suurissa kaukolämpöverkoissa, joissa kaivoja on niin paljon, ettei niissä kaikissa ole mahdollista käydä vuosittain, on huoltovälit määritelty kaivoille erikseen niiden sijainnin kriittisyyden perusteella. Kriittisissä venttiilikaivoissa käydään haastattelujen perusteella vuosittain, mutta muille kaivoille huoltovälit saattavat kasvaa kolmesta viiteen vuoteen.

Huoltokäynnillä huoltohenkilökunta tarkistaa venttiilin ja kaivon kunnon silmämääräisesti. Lisäksi tarkistetaan huoltopöytäkirjan mukaiset asiat kaivosta, kuten eristeen ja venttiilin kunto sekä mitataan kaivon olosuhteet, kuten kosteus ja lämpötila. Lisäksi huoltohenkilökunta sulkee ja avaa venttiilit, sillä venttiilejä suositellaan käytettäväksi vuosittain venttiilin jumiutumisen estämiseksi. Huoltohenkilökunnan käyttöön on olemassa kunnossapito-ohjelmistoja, joihin huoltohenkilökunta kirjaa huoltopäivämäärän ja tarkastuksen tulokset. Ohjelmistojen avulla on mahdollista seurata kunkin kaivon huoltolokia, ajoittaa seuraavia huoltokäyntejä sekä suunnitella saneeraustarpeita.

Automaation lisäämiseksi kaivojen kunnonvalvontaan on olemassa mittalaitteistoja, joiden avulla pysytään mittaamaan kaivon olosuhteita ja mittaustietoja pystytään tarkastelemaan etänä. Eräällä haastattelulla on käytössään suomalaisen Fimator Oy:n kaivovalvontalaitteisto. Fimatorin laitteiston avulla on mahdollista mitata kaivon olosuhteita, kuten kaivon ylä- ja alaosien lämpötiloja, vedenpinnan korkeutta sekä kaivon suhteellista kosteutta. Laitteiston avulla pystytään vuoto kaukolämpöverkossa havaitsemaan aikaisessa vaiheessa ja lisäksi pystytään havaitsemaan putkistolle haitalliset korroosiota aiheuttavat olosuhteet. (Fimator Oy 2017) Haastateltu energiayhtiön edustaja kertoi, että kunnonvalvontalaitteistoja on sijoitettu kaivoihin, joista on jouduttu pumppaamaan ylimääräistä vettä pois viimeisten kahden vuoden aikana ja niitä on myös tarkoitus tulevaisuudessa lisätä useampiin kaivoihin. Kuvassa 24 on esitetty Fimatorin kaivovalvontalaitteiston toimintaperiaate.



Kuva 24. Fimator Oy:n kaivon kunnossapitolaitteiston toimintaperiaate (Fimator Oy 2017).

Kaivon kunnonvalvontalaitteisto sisältää litiumakun, jonka avulla laitteiston toiminta-aika voi olla jopa useita vuosia. Tiedonsiirto kaivossa sijaitsevalta laitteistolta Fimatorin tarjoamalle verkkopalvelimelle tapahtuu langattomana tiedonsiirtona GSM-yhteyden kautta. Palvelimelta kuluttaja pystyy saamillaan tunnuksilla jatkuvasti tarkastelemaan kaivossa vallitsevia olosuhteita. Haittapuolena on, että saatua mittaustietoa ei ole mahdollista yhdistää energiayhtiön muihin järjestelmiin, vaan tiedot on mahdollista lukea ainoastaan palvelimelta. Kuluttaja saa tekstiviestillä tai sähköpostitse hälytyksen, jos esimerkiksi kaivon kosteus nousee yli sallitun rajan. (Fimator Oy 2017) Kunnonvalvontalaitteistojen avulla pystytään vuotojen havaitsemisen lisäksi pidentämään kaivojen manuaalisten huoltokertojen väliä ja vapauttamaan resursseja. Haastatellussa energiayhtiössä tietoja käytetään siten, että mikäli kaivosta tulee hälytys, nousee työ huoltohenkilökunnan työlistalle automaattisesti.

Etenkin talviaikaan ilmoitukset vuodoista saattavat tulla hätäkeskuksen kautta, kun ohikulkevat ihmiset ovat huomanneet kaivon ympärillä esimerkiksi sulaa maata tai höyryä. Toisaalta etenkin syksyllä, kun maassa on paljon vettä vuodenajasta johtuen, tällaista apua ei energiayhtiöille ole saatavilla. Putkistovuodot saatetaan havaita myös, kun maa pettää vuotokohdasta putkiston päältä. Lisäksi vuotojen havaitsemiseen saatetaan käyttää lämpökameroita tai vuotojen etsimiseen koulutettuja koiria, mutta näiden tapojen käyttäminen asutuilla alueilla on vaikeaa useiden muidenkin hukkalämmönlähteiden vuoksi. Lämmönjakelu kuluttajalle pystytään toteuttamaan melko suurenkin vuodon aikana siten, että energiayhtiö pystyy ensin hankkimaan tarvittavat urakointi- ja kaivuuyrittäjät paikalle ja ilmoittamaan kuluttajalle etukäteen keskeytyksestä.

Vuototilanteessa eräs haastatelluista yhtiöistä toimii siten, että verkko puolitetaan manuaalisesti ja kytketään verkon loppupuolelta varavoimalaitos päälle. Tällöin on mahdollista selvittää, kummalla puolella verkkoa vuoto on. Tämä toistetaan yhä uudelleen, jolloin lopulta vuoto pystytään paikallistamaan suppealle alueelle. Vuodon paikantamisessa käytetään myös paljon kokemuseräistä tietoa sekä verkon ikään ja kunnonvalvontaohjelmistoista löytyviin huoltolokeihin perustuvaa tietoa. Kaivoja voidaan tarkastaa edellä mainittuihin tietoihin perustuvassa järjestyksessä. Lisäksi vuoto pystytään havaitsemaan voimalaitoksella paineen putoamisena tai lisäveden syötön kasvuna.

Eräs haastateltu energiayhtiön edustaja kertoi esimerkkinä vuototilanteen paikantamisesta tapauksen, jossa hän oli edellisenä iltana huomannut, että verkkoon syötetyn lisäveden määrä oli kasvanut. Hän oli ollut seuraavana päivänä menossa lukemaan energiamittarilukemia väliasemilta ja löysi sattumalta erään väliaseman laitteistosta vuodon. Tästä esimerkistä voidaan päätellä, että vuotojen paikallistaminen on hankalaa ja usein kiinni sattumasta. Tämä johtuu siitä, että vuoto voi olla missä tahansa päin verkkoa; väliaseman laitteistossa, putkistossa tai venttiileissä, joko maan alla tai maan pinnalla. Esimerkin kertoneessa energiayhtiössä vuodon havaitseminen vaatii aina käynnin kohteessa.

Hankalia vuototilanteita ovat etenkin vuodot putkistoissa, jotka sijaitsevat vesistöissä. Näissä tapauksissa venttiilielementeissä on usein käytössä hälytyslangat, joiden avulla voidaan havaita vuoto eristeen sisällä. Hälytyslangoilla tarkoitetaan kahta kuparilankaa, jotka kulkevat eristeen sisällä. Mikäli eristeen sisälle pääsee kosteutta, syntyy kuparilankojen välille galvaaninen yhteys ja saadaan hälytys järjestelmään. Galvaaninen yhteys syntyy siitä, että kosteuden sähkönjohtavuuden avulla kuparilangat muodostavat ehjän sähköpiirin.

On olemassa myös vuotoja, joissa vuoto ei tapahdu ympäristöön vaan kaukolämpöverkkoon päin. Tällaisia tapauksia ovat muun muassa tilanteet, joissa väliaseman lämmönjakolaitteisto on hajonnut ja vuotaa siirto- ja jakeluverkkoon päin. Tällaiset vuodot on haastattelijan mukaan erityisen hankalaa paikallistaa. Voimalaitoksen lisäveden syöttöä tarkkailemalla voidaan huomata, kun lisäveden syöttötarve vähenee ja paineastia alkaa tyhjenemisen sijaan täyttyä. Tällöin voidaan päätellä, että jossain päin verkkoa on vuoto kaukolämpöverkkoon päin.

Taulukkoon 3 on kerätty haastatteluissa esille nousseet esimerkit olemassa olevista älykkäistä ratkaisuista kaukolämmön siirto- ja jakeluverkoissa sekä muissa verkon osissa. Kuten taulukosta nähdään, älykkäitä ratkaisuja löytyy pääasiassa voimalaitokselta, pumpaamoilta ja väliasemilta. Kaukolämpöverkoistakin löytyy älykkäitä ratkaisuja, mutta kaukolämpöverkon automaatioaste on selkeästi matalampi kuin muilla kaukolämmön tuotannon osa-alueilla.

Taulukko 3. Olemassa olevat älykkäät ratkaisut kaukolämpöjärjestelmän eri osissa..

Verkon osa	Mitä mitataan	Missä mitataan	Mittauksen tarkoitus
Voimalaitos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Meno- ja paluulämpötila ▪ Meno- ja paluupaine ▪ Lisäveden syöttömäärä 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mittauksia löytyy kaikkien haastateltujen voimalaitoksilta 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vuotojen havaitseminen
Pumppaamo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Meno- ja paluulämpötila ▪ Meno- ja paluupaine ▪ Meno- ja paluuvirtausmäärä 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mittauksia löytyy kaikkien haastateltujen pumppaamoilta 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vuotojen havaitseminen ▪ Vuotojen paikallistaminen
Kaukolämpöverkko	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Meno- ja paluulämpötila ▪ Meno- ja paluupaine ▪ Meno- ja paluuvirtausmäärä ▪ Kaivon lämpötila ▪ Kaivon kosteus ▪ Vedenpinnan korkeus kaivossa 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mittauksia löytyy kolmen haastatellun verkoista ▪ Virtausmittauksia löytyy kahden haastatellun verkoista ▪ Kaivon kunnonvalvontalaitteisto löytyy yhden haastatellun kaivoista 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vuotojen havaitseminen ▪ Vuotojen paikallistaminen ▪ Verkon optimointi ▪ Kaivojen huoltovälien pidentäminen
Väli-asema	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Meno- ja paluulämpötila ▪ Paine-ero ▪ Lämmönvaihtimelle siirretty energia 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mittauskeskus löytyy kaikkien haastateltujen jokaiselta väliasemalta 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Laskutus ▪ Vuotojen havaitseminen

Haastattelujen perusteella kävi ilmi, että kaukolämmön 80-luvulla alkanut kasvu on taasoittunut viime vuosien aikana. Osasyynä kasvun tasaantumiseen energiayhtiöt pitivät kilpailevien lämmitysmuotojen, kuten maalämmön ja lämpöpumpputeknologian, yleistymistä. Jokainen haastateltu energiayhtiö kuitenkin investoi vuosittain yhtiön koosta riippuen budjetoidun summan uuden kaukolämmön siirto- ja jakeluverkon rakentamiseen. Erään energiayhtiön edustajan mukaan kaukolämpöä on pidetty liian itsestäänselvyysnä ja sitä kautta markkinoitu liian vähän. Hänen mielestään kaukolämpöä ja sen etuja pitäisi tuoda paremmin kuluttajien tietoisuuteen. Toisen haastatellun energiayhtiön suunnitelmana oli laajentaa omaa liiketoimintaansa kaukolämmön lisäksi myös kilpailevien lämmitysmenetelmien suuntaan.

Uuden verkon rakentaminen ei kuitenkaan ole aina kannattavaa, sillä kustannukset ovat huomattavia ja verkon kasvettua riittävästi tarvitaan uusi tuotantolaitos. Lisäksi valtiolta

tulee tasaisin väliajoin energiayhtiöitä ja kaukolämmön siirto- ja jakeluverkkoja koskevia määräyksiä. Myös maantieteelliset tekijät voivat paikoitellen olla esteenä kaukolämpöverkon laajenemiselle Suomessa. Eräs haastateltu näki suurimpana esteenä kaukolämpöverkon laajentamiselle alavuuden alueella, johon lämmönsiirto- ja jakeluverkkoa oli suunniteltu laajennettavan.

Alavilla alueilla on lähes aina vettä ojissa ja siten sitä olisi myös kaukolämpökaivoissa, jolloin haastatellun mukaan esimerkiksi sähköiset toimilaitteet eivät tule kysymykseen. Manuaaliset vaihteetkaan eivät hänen mukaansa ole käytännöllisiä jos niitä käyttääkseen tulee upottautua veteen. Tyypillisesti kaukolämpökaivoissa ja kaukolämpöputkiston alla on salaojaputket, jotka pitävät putkiston kuivana, mutta salaojaputketkaan eivät auta mikäli alue on koko ajan veden alla. Tällaisissa tapauksissa esimerkiksi hydraulinen toimilaitte tulee kysymykseen, jolloin ohjaus voidaan toteuttaa maan pinnalta.

6.1.2 Tulevaisuuden toiveet

Vaikka osalta haastatelluista energiayhtiöistä mittauksia löytyy jo kaukolämpöverkosta etenkin kriittisistä kohdista, toiveena olisi lisätä mittauksia myös muualle verkkoon kuin väliasemien laitteistoihin, pumppaamoille ja kriittisimpiin haarakohtiin. Mittauksien avulla energiayhtiöt haluaisivat valvoa kaukolämpöverkon kuntoa sekä havaita ja paikallistaa vuotoja. Kaukolämpöverkon kunnon lisäksi mittaustiedon avulla haluttaisiin selvittää myös venttiilikaivojen kuntoa ja niissä vallitsevia olosuhteita, minkä vuoksi antureita haluttaisiin sijoittaa myös kaukolämpökaivoihin kaivojen kosteuden ja lämpötilan mittaamiseksi. Vaikka kaivojen kunnonvalvontaan liittyviä laitteistoja on jo olemassa, kuten on mainittu aiemmin luvussa 6.1.1, haluttaisiin kaivojen kunnonvalvonta yhdistää osaksi kaukolämpöverkon kunnonvalvontaa yhdeksi kokonaisuudeksi. Haastatellut uskovat automaation lisäämisen verkkoon parantavan kaukolämmön toimitusvarmuutta ja siten myös energiayhtiöiden yritysimagoa kuluttajien keskuudessa.

Haastateltujen energiayhtiöiden mukaan kaukolämpöverkosta olisi hyödyllistä mitata verkon kuntoa korreloivia suureita, kuten virtausta, paine-eroa ja lämpötilaa. Eräs haastateltu piti tärkeimpänä kaukolämpöverkosta mitattavana suurena väliaineen lämpötilaa, sillä jos verkkoa ajetaan ensin kylmänä ja laitetaan sitten lämmöt päälle, saattaa lämpötilan yllättävä vaihtelu aiheuttaa verkkoon useita vuotoja. Seuraavaksi tärkein suure haastatellun mielestä on paine-ero, jonka avulla varmistetaan, että verkossa on virtausta. Toisaalta toisen haastatellun mukaan tärkein verkosta mitattava suure on virtaus, sillä sen avulla pystytään parhaiten paikallistamaan vuotoja.

Ongelmana etenkin virtauksen mittauksessa eräs haastateltu näkee antureiden herkkyyden roskille, sillä kaukolämpöverkoissa kulkee aina hieman roskia. Suurimmista verkoista voi löytyä myös niin suuria roskia, että putket voivat tukkeutua. Eräs haastateltu

kertoi tapauksesta, jossa putkistosta löytyivät miesten haalarit. Mikäli siirto- ja jakeluverkko on mitoitettu oikein ja virtaukset ovat alhaisia, roskat kulkevat verkon pohjalla eivätkä vaikuta antureiden toimintaan. Anturit tulisivat sijoittaa esimerkiksi putkiston sivuun tai päälle. Monissa väliasemien lämmönjakohuoneista löytyvissä mittauskeskuksissa, joista mittauksia jo nykyisin löytyy, on lianerotin juuri tästä syystä.

Pienien vuotojen havaitseminen on vaikeaa, sillä verkon koosta riippuen pienien vuotojen vaikutus verkosta mitattavien suureiden arvoihin voi olla hyvin vähäistä. Tästä syystä mitta-antureiden tulisi haastateltujen mukaan olla erityisen herkkiä suureiden vaihteluille ja niiden asetukset tulisi olla mahdollista säätää putkiston koon mukaan. Antureiden tulisi haastateltujen mukaan myös kestää kaukolämpökaivojen haastavissa ympäristöolosuhteissa useita vuosia. Lisäksi antureissa tulisi huomioida muun muassa lämpötilan kompensointi.

Haastateltujen mukaan antureiden tulisi myös olla vaivattomasti asennettavissa sekä helpoja huoltaa ja vaihtaa. Antureiden pitäisi olla lisäksi helposti kalibroitavissa. Haastatellut kokivat sähkönsyötön järjestämisen niin sähkötoimilaitteille kuin antureillekin haastavana ja kalliina ratkaisuna. Paristot ovat halvempi ratkaisu, mutta ongelmana nähtiin niiden vaihtaminen vuosittain tai muutaman vuoden välein, sillä siitä seuraa ylimääräistä työtä. Haastateltujen mukaan olisi tarpeellista kehittää jonkinlainen generaattori, jonka avulla kaukolämpökaivoihin saataisiin tuotettua sähköä paikallisesti.

Verkoston tasapainotus tulee haastateltujen mukaan kyseeseen muun muassa eri vuodenaikoina ja vuorokauden aikoina. Pumppaustehon tasapainottaminen siten, että esimerkiksi kesä- tai yöaikaan ei pumpattaisi turhaan, toisi siirto- ja jakeluverkkoihin lisää tehokkuutta ja parantaisi hyötysuhdetta. Tähän tarkoitukseen toivottaisiin esimerkiksi mittaus-tiedon perusteella voimalaitoksen pumppaustehon automaattista säätöä sekä venttiilien etäohjausta. Tasapainotukseen ei ole kiinnitetty huomiota verkon suunnitteluvaiheessa, joten siksi tasapainotukseen tulisi haastateltujen mukaan alkaa kiinnittää huomiota jälkikäteen. Tasapainottamiseen tarvittavia pumppaustekniikoita ja itsesäätyviä ratkaisuja on nykypäivänä olemassa, mutta koska verkko on vanhaa, ratkaisuja ei ole huomioitu kaukolämpöverkon rakentamisvaiheessa.

Vaikka huoltohenkilökunta käy tarkistamassa venttiilikaivot säännöllisin väliajoin, suurin osa lämmönsiirto- ja jakeluverkosta sijaitsee maan alla siten, että sitä ei pääse silmämääräisesti tarkastelemaan. Koska lämmönsiirto- ja jakeluverkon pituus voi lisäksi monella energiayhtiöllä olla useita satoja kilometrejä, on vuotojen paikallistaminen ajoittain erittäin hankalaa. Usein venttiilikaivojen välillä voi olla useita satoja metrejä verkkoa, ja jos vuoto tapahtuu maan alla kaivojen välillä, on todella tehotonta kaivaa koko alue auki vuodon paikallistamiseksi.

Edellä mainituista syistä monen haastatellun energiayhtiön edustajan toive olisikin älykäs ratkaisujen avulla pystyä paikallistamaan vuotopaikka mahdollisimman tarkkaan. Lisäämällä paine-, lämpötila- ja virtausmittauksia kaukolämpöverkkoon olisi mahdollista saada hälytys esimerkiksi niin sanotusta kylmästä pulssista. Kun kaukolämpöverkkoon tulee vuoto, kaukolämpöveden lämpötila putoaa nopeasti ja aiheuttaa verkossa etenevän kylmän virtauspulssin. Tarkastelemalla, missä kaivossa sijaitsevilla antureilla pulssi on vaikuttanut ensimmäisenä, on mahdollista päätellä vuodon sijainti.

Eräässä energiayhtiössä on toteutettu kokeilu, jossa laatikonmallisen kaukolämpöverkkoalueen jokaiseen kulmaan asennettiin yliherkät paineanturit. Mikäli verkkoon tulee äkillinen paineisku esimerkiksi vuodon seurauksena, kulkee tieto koko alueen läpi ja järjestelmä mittaa paineiskun etenemisen anturilta toiselle millisekunteina ja pyrkii näin määrittämään vuotokohdan. Järjestelmä ei kuitenkaan toiminut, kun sitä testattiin avaamalla ilmausventtiili ja seuraamalla siitä seurannutta paineiskua verkossa. Vuotoa ei pystytty paikallistamaan edes lähelle todellista kohtaa. Järjestelmän toimimiseksi tulisi antureiden ja ohjelmiston keskustella keskenään ja ohjelmistossa tulisi lisäksi olla mahdollista toteuttaa laskentaa erittäin suurella suorituskyvyllä. Järjestelmän toimintaan vaikuttavat myös silmukkaverkot, joissa paineisku saattaa kulkea eri reittejä.

Osa haastatelluista koki, että riittäisi jos antureilta olisi mahdollista saada hälytykset järjestelmään automaattisesti. Tällöin olisi mahdollista tarkistaa manuaalisesti kaukolämpökaivo, josta hälytys on tullut. Usein hälytykset saattavat johtua myös muista tekijöistä kuin vuototilanteesta, esimerkiksi anturin mittavirhe voi olla syy hälytykselle. Toinen haastateltu ehdotti, että suureen arvo lähetettäisiin järjestelmään säännöllisin väliajoin, jolloin dataservertit eivät ruuhkaudu mutta nähdään kuitenkin miten suureen arvo on käyttäytynyt esimerkiksi ennen hälytyksen tuloa. Eräs haastateltu ehdotti myös, että Vexven linjasäätöventtiilistä löytyvät mittayhteet lisättäisiin kaikkiin venttiileihin, jotta kuluttaja pystyisi oman mittalaitteensa avulla mittaamaan helposti virtausta ja paine-eroa venttiilin kautta. Etenkin pienissä kaukolämpöverkoissa koettiin, että kaivojen tarkastus manuaalisesti hälytyksen tultua olisi riittävä automaatioaste nykytilanteessa.

Toisten energiayhtiöiden edustajien mukaan taas on tärkeää, missä muodossa mittaustieto on luettavissa. Kaikista hyödyllisintä heidän mukaansa on nähdä eri mittasuureista tehtyjä jatkuvia trendikuvaajia, joiden avulla pystytään päättelemään esimerkiksi vuodon suuruutta ja nähdään mistä vuodon aiheuttama kylmä pulssi on saanut alkunsa. Lisäksi pystyttäisiin erottamaan esimerkiksi eri suureiden hetkelliset heilahtelut todellisista vuototilanteista, kun nähdään miten suureen arvo on käyttäytynyt pitkällä ajanjaksolla, etenkin juuri ennen hälytyksen ilmaantumista. Etenkin suurissa kaukolämpöverkoissa jatkuvat mittaukset olisivat haastattelujen perusteella tärkeitä.

Tietoturva nousi esiin jokaisessa haastattelussa, eli miten venttiilejä voidaan ohjata ja mittaustietoa lukea etänä siten, että säilytetään tietoturva. Etenkin venttiilien ohjaussignaalien tiedonsiirron tulee olla suojattua. Tästä syystä voimalaitostenkin automaatio on eräällä haastatellulla toteutettu siten, että tietoa voidaan lukea ja tarkkailla, mutta minäänlaista säätöä ei voida tehdä etänä. Tämä tarkoitti erään haastatellun tapauksessa käytännössä sitä, että varavoimalaitoksilta saadaan prosessia kuvaavat mittaustiedot päävalvomoon, mutta päävalvomon kautta ei voida tehdä ohjauksia.

Energiayhtiöiden kanssa keskusteltiin myös siitä, mihin anturit olisi järkevää sijoittaa lämmönsiirto- ja jakeluverkoissa. Koska venttiilien kohdalla on lämmönsiirto- ja jakeluverkoissa usein kaivo, olivat kaikki energiayhtiöt sitä mieltä, että anturit olisi käytännöllistä sijoittaa venttiilielementtiin. Kaivon kautta anturit olisi helppo asentaa ja tarpeen vaatiessa vaihtaa. Osa mittauksista, kuten lämpötilan ja kiihtyvyyden mittaukset, tulee sijoittaa putkiston pintaan todenmukaisten ja luotettavien tulosten saamiseksi. Näissä mittauksissa tarvittavien eristeeseen tehtävien anturitaskujen teko on tehokkainta toteuttaa venttiilien esieristämisen yhteydessä, sillä eristeeseen tarvitaan taskuja myös muun muassa ilmausventtiilien käyttöä varten. Eristeeseen sijoitetut anturitaskut lisäksi suojaavat antureita kaivojen vaativilta ympäristöolosuhteilta, kuten kosteudelta.

Suomessa vanhimmat kaukolämpöverkot ovat noin 50 vuotta vanhoja, joten kaikilla haastatelluilla energiayhtiöillä investoidaan verkon saneeraukseen vuosittain. Vanhetessaan kaukolämpöputkisto ja venttiilit ruostuvat, eriste kuoriutuu pois ja lisäksi venttiilit voivat jumiutua asentoonsa tai alkaa vuotaa. Koska saneerattavaa verkkoa on suurilla energiayhtiöillä useita satoja kilometrejä, erään haastatellun energiayhtiön edustajan mukaan verkkojen vanhenemisen yhteydessä on riski, että verkko vaurioituu ennen kuin sitä ehditään saneerata. Hänen mukaansa olisikin etu, jos älykäs ratkaisu olisi mahdollista lisätä jälkikäteen olemassa olevaan kaukolämpöverkkoon, jotta pystyttäisiin ajoittamaan saneerauksia huonokuntoisimpiin verkkoihin. Eristeeseen on mahdollista tehdä taskut antureita varten kaivossa myös jälkikäteen. Antureiden sijoittaminen kaukolämpöverkkoon kaivon kohdalle mahdollistaisi tällöin antureiden asentamisen myös jälkikäteen olemassa olevaan linjaan.

Älykäs venttiilielementti, johon on sijoitettu mittauksia, sisältää niin paljon erityisosaa- mista eri tekniikan aloilta, että haastatellut energiayhtiöiden edustajat kokisivat yksinkertaisena vaihtoehtona hankkia kerralla venttiilien hankinnan ohella kokonaisratkaisun, joka sisältäisi venttiilin ohella myös tarvittavat mittaukset ja tiedonsiirtoon vaadittavat komponentit. Lisäksi heidän mukaansa anturointi olisi mielekästä toteuttaa saneerauksen yhteydessä tulevaisuutta ajatellen jo lähiaikoina, sillä kaukolämmön siirto- ja jakeluverkko on muuttumaton ja pitkäikäinen ja seuraaviin saneerauksiin voi kulua useita kymmeniä vuosia. Vaikka mittaustietoa ei kytkettäisi vielä energiayhtiöiden valvomoon, olisi antureiden kytkeminen ja tiedonsiirron toteuttaminen jälkikäteen helppoa, kun tarvittavat komponentit löytyisivät valmiiksi kaivosta. Lisäksi etenkin jos kyseessä on etäohjattava

venttiili, voitaisiin mittaustietoa siirtää kätevästi etäohjattavan toimilaitteen ohjaussignaalien rinnalla. Etäohjattavasta toimilaitteesta olisi lisäksi mahdollista saada venttiilien asentotiedot valvontajärjestelmään.

Kaikki haastatellut aikovat lisätä etäohjattavia venttiilejä lämmönsiirto- ja jakeluverkkoihin saneerauksien yhteydessä. Erään haastatellun toiveena oli, että etäohjattavien venttiilien avulla pystyttäisiin maksuhäiriötapauksissa sulkemaan lämmön toimitus kuluttajalle. Tällä hetkellä maksuhäiriötapauksissa energiayhtiön edustajan on päästävä sisälle kuluttajan kiinteistöön rakentamaan lämmönjakokaappiin niin sanottu kuparilenkki, jonka kautta lämpö kulkee väliaseman lämmönjakolaitteiston ohi. Toiveissa olisi samankaltainen ratkaisu kuin sähkönjakelussa, eli kiinteistön ulkopuolella sijaitseva lämmönjakokaappi, jossa olisi meno- ja paluusulkuventtiilit sekä nämä yhdistävä ohitusventtiili, joiden avulla kuluttaja voidaan sulkea pois verkosta menemättä sisälle kiinteistöön. Kyseisten venttiilien varustaminen etäohjattavalla toimilaitteella helpottaisi tilannetta entisestään. Erään haastatellun mukaan tällaisia laitteita on jo aloitettu kehitellä Suomessa, mutta kaupallista tuotetta ei ole syntynyt.

Eräs haastateltu näkee etäohjattavien venttiilien etuna myös sen, että venttiilejä pystytään käyttämään helposti vuosittain jumiutumisen estämiseksi. Jokaisen venttiilin operointi vuosittain manuaalisesti huollon yhteydessä etenkin suurissa verkoissa on haastateltujen mukaan käytännössä mahdotonta. Sähkötoimilaitteiden lisäksi myös hydrauliset toimilaitteet toimivat etäohjauksella ja monet haastatellut olivat kiinnostuneita myös niiden toimintaperiaatteista.

Etäohjattavia venttiilejä lisäämällä pystytään vuototilanteessa eristämään vaurioitunut alue ja tasapainottamaan verkko ennen voimalaitoksen sammumista. Eräs haastateltu energiayhtiön edustaja toivoi, että etäohjattavien venttiilien avulla pystyttäisiin vuototilanteessa nopeasti jakamaan verkko kahtia yhä uudelleen ja näin paikallistamaan vuoto-kohta nopeammin kuin manuaalisesti ohjattavien venttiilien avulla. Tällaisissa tapauksissa verkossa ei ole mittauksia, vaan tarkkailemalla voimalaitoksen päässä muutoksia lisäveden syötössä pystytään havaitsemaan vuoto ja venttiilejä sulkemalla päättämään minkä alueen erottaminen verkosta poistaa ongelman ja voidaan näin päätellä vuotokohta.

Erään haastatellun mielestä olisi toivottavaa, että etäohjattavien venttiilien avulla yksi henkilö pystyisi reagoimaan ensiavun omaisesti vuototilanteessa nopeasti valvomosta käsin, vaikka vuodon korjaamiseen henkilökuntaa tarvitaankin enemmän. Tällöin kaukolämpöverkkoon tulisi sijoittaa myös mittauksia, jotta pystytään paikallistamaan vuoto välittömästi. Venttiileissä ja antureissa tulisi olla GPS-lähetin, jonka avulla päivystäjä pystyisi nopeasti selvittämään sijainnin, josta hälytys on tullut ja pystyisi määrittämään vuotoalueen ja erottamaan venttiilien avulla kyseisen alueen kaukolämpöverkosta. Toinen

haastateltu näkee kuitenkin ongelmana venttiilien sulkemisessa mitta-antureiden hälytysten perusteella väärät hälytykset, jotka voivat johtua esimerkiksi anturin virheestä tai haajoamisesta. Tällöin kaukolämpöverkko suljettaisiin turhaan.

Erään haastatellun mielestä myös langaton etäohjausmahdollisuus olisi tärkeää. Tällöin pienissä energiayhtiöissä, joissa on ainoastaan yksi päivystäjä, joka ei ole vuorokauden ympäri valvomossa paikalla, pystyisi heti hälytyksen tultua sulkemaan venttiilit halutulta alueelta mobiililaitteen avulla. Vuototilanteessa energiayhtiöiden edustajille on voimallistoksen sammumisen estämisen lisäksi tärkeää, että mahdollisimman vähän kuluttajia on ilman lämpöä. Sijoittamalla verkkoon mittauksia ja lisäämällä niihin myös sijaintitiedot pystytään erottamaan ainoastaan välttämätön alue kaukolämpöverkosta ja mahdollistetaan lämmöntuotannon jatkuminen mahdollisimman monille kuluttajille.

Vaikka silmukoitu rakenne on yleinen kaukolämpöverkoissa, normaalitilanteessa silmukoja ei tarvita, sillä lämpö pystytään siirtämään kuluttajalle ensisijaista reittiä. Haastattelujen perusteella mittauspisteiden lisäämisen avulla saataisiin tietoa virtauksen reitistä kaukolämpöverkoissa ja pystyttäisiin optimoimaan silmukkojen toimintaa, sillä virtaus kulkee verkossa sinne päin missä on vähiten virtausvastuksia. Tällöin saattaa tulla tilanteita, joissa vesi virtaa silmukkaan molemmista suunnista ja pumppaustehoa kuluu turhaan kohdassa, jossa virtaukset kohtaavat. Verkon optimoimiseksi voitaisiin esimerkiksi katkaista silmukoita etäohjattavilla venttiileillä edellä mainitun kaltaisessa tilanteessa, jolloin pumppausta saataisiin tehokkaammaksi ja säästettäisiin kustannuksia muun muassa sähkönkulutuksessa ja lisäveden pumppauksessa.

Eräällä haastatellulla energiayhtiöllä on toteutumassa kaksisuuntainen lämmönjakelu, eli teollisuuslaitos voi syöttää prosessiensa ylijäämäenergiaa kaukolämpöverkkoon tai kaukolämpöverkosta voidaan ottaa energiaa teollisuuslaitoksen lämmitykseen. Kaksisuuntaisuutta voitaisiin heidän mukaansa soveltaa tulevaisuudessa myös muihin kiinteistöihin, sillä kiinteistöjen energiatehokkuudet paranevat jatkuvasti rakennustekniikan kehittyessä. Kaksisuuntaisessa lämmönjakelussa tullaan tarvitsemaan älykkäitä venttiilejä, jotta pystytään hallitsemaan energian syöttösuuntaa. Lisäksi tarvitaan mittaustietoa laskutuksen perustaksi, sillä nykyään energiayhtiöt laskevat manuaalisesti onko tarpeen hyvittää kuluttajalle vai laskuttaa heitä, eli kumpaan suuntaan energiaa on syötetty enemmän.

Eräs haastateltu energiayhtiö on kehittänyt eräänlaista bonuspistejärjestelmää, jonka avulla energiaa säästävät kuluttajat saisivat etuja. Tähän tarkoitukseen tarvittaisiin mitaustekniikkaa, jonka avulla pystyttäisiin jakamaan kaukolämpöverkko alueittain ja mittaamaan energiankulutusta kyseiseltä alueelta. Mikäli kaupunginosa on ollut säästeliäs energiankäytössään, saisi kaupunginosa jonkinlaisen palkinnon, kuten kukkaistutuksia, leikkipuiston tai grillausillan. Palkinnon tulisi olla sellainen, että se kohdistuisi kyseisen alueen yhteiseen hyvään. Hankalaksi kyseisen idean toteutuksen tekee se, että tulisi huo-

mioida paine- ja lämpötilamittausten lisäksi energiankulutus, astepäiväluku, eli vuorokauden keskilämpötila, ja rakennuskanta, jotta pystyttäisiin todentamaan onko energiankulutus kaupunginosassa todellisuudessa vähentynyt.

Eräs haastateltu toivoi myös, että venttiilien yhteyteen voitaisiin luoda sähköinen huoltoloki, jota käytön ja kunnossapidon työntekijät voisivat käyttää. Lokikirjasta voitaisiin nähdä, onko venttiilejä ohjattu jonkin syyn takia auki tai kiinni ja ovatko ne eri asennossa kuin normaalisti. Lisäksi sieltä nähtäisiin tehdyt huoltotoimenpiteet ja kuka toimenpiteet on tehnyt. Tämän voisi mahdollisesti toteuttaa esimerkiksi venttiiliin tai kaivoon sijoitettavan RFID- tai QR-koodin avulla. Venttiili on usein eristeen sisällä, joten koodi tulisi kiinnittää joko toimilaitteeseen tai kaivoon. Koodin avulla voisi olla mahdollista lukea myös venttiilin tiedot, kuten materiaalitodistukset ja valmistuspäivä. Lisäksi toivottavaa olisi, että venttiilissä olisi paikannustiedot, jotta sähköisestä huoltolokista olisi mahdollista nähdä myös venttiilin sijainti. Tämän sähköisen huoltolokijärjestelmän tulisi olla liitettävissä energiayhtiön prosessienohjausjärjestelmään.

Kaikkein pienimmissä verkoissa haastatellut eivät usko automaattisista ratkaisuista olevan niin paljon hyötyä. Osa haastatelluista näkee, että mikäli älykkäiden ratkaisujen lisäämisestä tulee suuria kustannuksia, niiden hyödyt voivat jäädä niin vähäisiksi etteivät investoinnit kannata. Tästä syystä pitäisi panostaa ratkaisuihin, joissa yhden laitteen avulla pystyttäisiin toteuttamaan mahdollisimman monta mittausta. Lisäksi energiayhtiöiden pitää miettiä, onko antureista saatava hyöty suurempi kuin niiden lisäämisestä johutuva ylimääräinen työ. Ylimääräisenä työnä haastatellut pitivät esimerkiksi oletettua huoltokertojen lisääntymistä antureiden kalibroinnin ja paristojen vaihdon vuoksi.

Tärkeimmät haastatteluissa esiin nousseet energiayhtiöiden tulevaisuuden toiveet automaation lisäämisestä kaukolämpöverkkoihin on esitetty alla olevassa taulukossa 4. Taulukkoon on toiveiden lisäksi kerätty haastateltujen esittämiä erityishuomiota vaativia asioita sekä asioita, joiden toteutuksen energiayhtiöt kokevat ongelmallisena.

Taulukko 4. Tulevaisuuden toiveet älykkäille ratkaisuille kaukolämpöverkoissa.

Toive	Hyödyt	Huomioitavaa
Mittausten lisääminen kaukolämpöverkkoihin ja -kaivoihin	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vuotojen paikallistaminen ▪ Vuotojen havaitseminen ▪ Verkon tasapainottaminen ▪ Hyötysuhteen parantaminen ▪ Toimitusvarmuuden parantaminen ▪ Huoltovälien pidentäminen ▪ Saneerausten ajoittaminen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Antureiden sijoittaminen putkistossa, herkkyys, kompensointi, huolto ja ylläpito, mittaustiheys ▪ Väärät hälytykset ▪ Sähkönsyötön järjestäminen antureille ▪ Asentaminen olemassa olevaan verkkoon ▪ Haastavat ympäristöolosuhteet ▪ Ohjelmistojen suorituskyky ▪ Hinta ▪ Tietoturva ▪ Kaivon kunnonvalvonnan yhdistäminen verkon kunnonvalvontaa
Etäohjattavien venttiilien lisääminen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vuotoalueen eristäminen ▪ Tarpeettomien silmukaverkkojen katkaiseminen ▪ Verkon tasapainottaminen ▪ Maksuhäiriötapaukset ▪ Venttiilien käyttäminen vuosittain 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sähkönsyötön järjestäminen ▪ Hinta ▪ Tietoturva
Generaattori sähkönsyötön toteuttamiseksi	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Säästöt kaapelointikustannuksissa ▪ Ei tarvetta paristojen vaihdolle 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Toteutus ▪ Hinta
Kaksisuuntaisuus	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Energiatehokkuuden kasvattaminen ▪ Kuluttajan säästöt 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Taselaskelmat ▪ Energian syöttösuunnan hallitseminen
Bonuspistejärjestelmä	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Energiansäästö 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Astepäiväluku, rakennuskanta ▪ Säästöjen mittaaminen
Sähköiset huoltolokit	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Venttiilien asennon todentaminen ▪ Huoltojen ajoittaminen ▪ Venttiilien sijainti ja tiedot 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ RFID/QR, millä laitteella luetaan ▪ Koodin sijainti (venttiili eristetty) ▪ Tietoturva

Eräs haastateltu oli sitä mieltä, että mikäli älyä lisättäisiin erikseen olemassa olevaan toimintakykyiseen verkkoon ja lämmönjakelu kuluttajalle jouduttaisiin katkaisemaan sen takia usein, olisi siitä haittaa energiayhtiöiden liiketoiminnalle. Saneeraus ja uusien verkkojen rakentaminen nähdään tästä syystä hyvinä tilaisuuksina lisätä älyä verkkoihin, sillä alalla asiakastytyväisyys on erittäin merkitsevä tekijä. Tällöin voitaisiin älyn lisääminen kaukolämpöverkkoon toteuttaa samalla kun verkkoa muutenkin huolletaan ja kuluttajan näkökulmasta tulisi vain yksi käyttökatko. Saneerausten yhteydessä tulee kyseeseen myös ennakointi, eli energiayhtiöiden tulee suunnitella saneerattavien verkon kohtien älykkäiden ratkaisujen tarve useita kymmeniä vuosia eteenpäin.

Automaatio on selkeästi kasvava trendi myös muissa energiayhtiöiden toiminnoissa. Vaikka kaukokylmäverkkoa on Suomessa toistaiseksi niin vähän, ettei kaukokylmäverkkojen automatisointi ole ajankohtaista, haastatellut kokivat, että haastatteluissa esiin nousseet asiat sopivat yhtä hyvin niin kaukokylmä- kuin kaukolämpöverkkoihinkin. Haastatellut uskovat myös, että jos älykkäästä venttiilistä saadaan kehiteltyä Suomessa toimiva ratkaisu, saadaan ratkaisua vietyä myös muualle Eurooppaan ja sitä kautta ympäri maailmaa. Erään haastatellun mukaan älyä kaivattaisiin etenkin haja-asutusalueille ja pieniin putkistoihin, joihin huoltohenkilökunnalla on pitkä matka vuototilanteessa. Suuremmat putket sijaitsevat yleensä lähempänä päävalvomoa, jolloin manuaalinen operointi on helpompaa. Toisaalta toisen haastatellun mukaan suurempiin putkistoihin olisi syytä lisätä automaatiota, sillä niissä tapahtuvista vuodoista on suurimmat haitat ja seuraukset.

6.2 Anturoitu venttiilielementti

Energiayhtiöiden kanssa käytyjen keskustelujen perusteella voitiin todeta, että tarve älykkäisiin ratkaisuihin kaukolämmön siirto- ja jakeluverkoissa on olemassa. Tästä syystä Vexve toteutti ensimmäisen prototyypin älykkäästä venttiilistä syksyllä 2017. Prototyyppi toteutettiin Vexven loppuasiakkaalle, jonka mielestä älykkäiden ratkaisujen tuominen venttiiliin olisi niin liiketoiminnallisesta, kuin käytön ja kunnossapidon, näkökulmasta erittäin hyödyllistä ja mielenkiintoista. Vexven lisäksi prototyypin toteutukseen osallistui Vexven yhteistyökumppaneita eri osaamisalueilta, jotta saatiin kehitettyä mahdollisimman käyttäjäystävällinen ja toiminnallisuudeltaan mahdollisimman paljon kaupallista tuotetta vastaava prototyyppi.

Prototyyppiin kuului kaksi venttiilielementtiä, joista kumpikin sisälsi Vexven DN400 palloventtiilin pääsulkuventtiilinä, DN50 pitkäkaraisen palloventtiilin ohitusventtiilinä sekä molemmien puolin pääventtiiliä sijoitetut DN50 ilmausventtiilit. Pääsulkuventtiilin toimilaitteena oli käsikäyttöinen vaihde, jota voitiin käyttää esimerkiksi T-avaimella. T-avain on T-kirjaimen muotoinen kappale, jonka pisin varsi sopii käsikäyttöisen vaihteen vääntämiseen. Myös ohitusventtiiliä käytettiin T-avaimella.

Venttiilielementit oli eristetty siten, että ilmausventtiilit jäivät osittain eristeen ulkopuolelle, jotta putkisto on mahdollista ilmata avaamalla ilmausventtiilit. Lisäksi sekä pääsulku- että ohitusventtiilien käyttöä varten eristeessä oli eristetaskut, joiden kautta T-avaimen varsi saadaan toimilaitteen tai venttiilin karan vääntimeen. Eristetasku tarkoittaa eristeeseen tehtyä eristämätöntä kohtaa, joka on peitetty korkilla. Korkki kiinnitetään paikalleen ja tiivistetään yleensä kierteiden avulla. Lisäksi eristeeseen oli tehty eristetaskut pääsulkuventtiilin vaihteen säätämistä varten. Tämä on tyypillinen eristysratkaisu maanalaisissa kaukolämmön siirto- ja jakeluverkoissa Suomessa. Prototyyppiä varten eristeeseen oli edellä mainittujen lisäksi tehty molemmiin puolin pääventtiiliä anturitaskut, joiden kautta anturit pystyttiin kiinnittämään venttiilin runkoon. Kuvassa 25 on esitetty venttiilielementit ennen antureiden asennusta Vexven tehtaalla Sastamalassa.

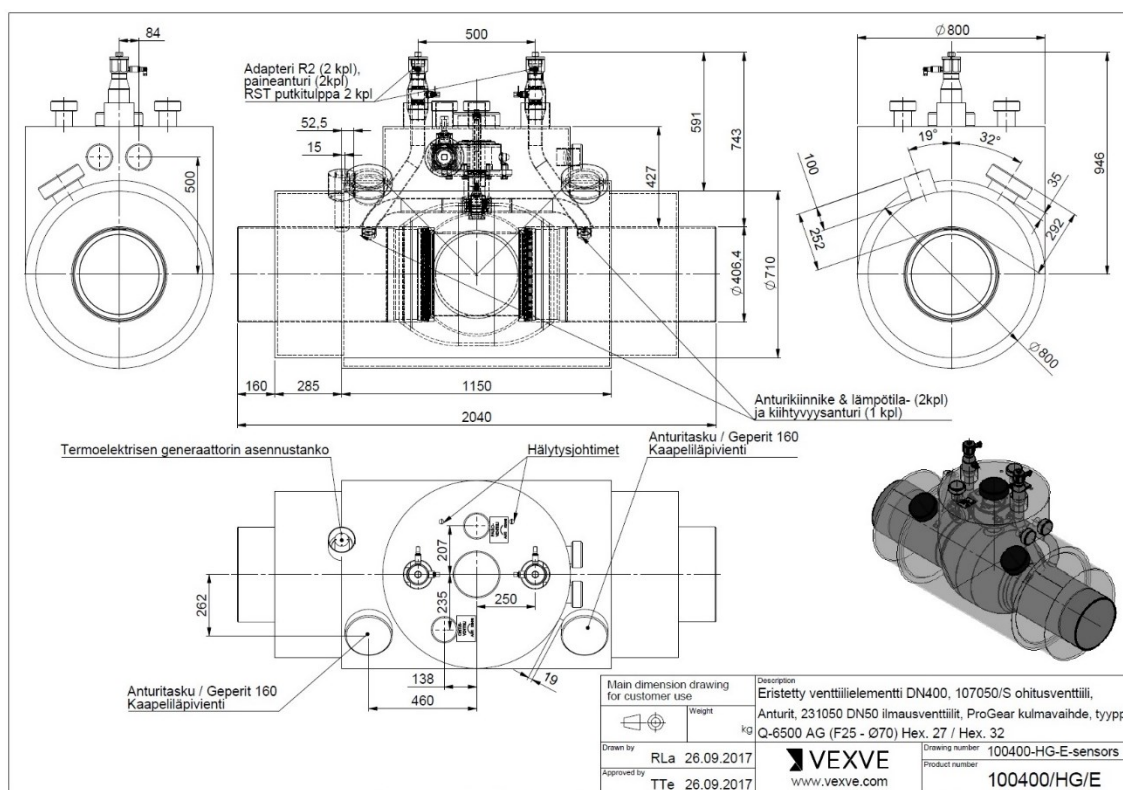


Kuva 25. Venttiilielementit Vexven tehtaalla Sastamalassa.

Antureiden valinnassa oli huomioitava niin ympäristön kuin väliaineenkin ominaisuudet. Antureiden tuli olla IP68 suojattuja, eli suojattuja sekä pölyltä että pidempikestoiselta upotukselta veteen. Lisäksi piti huomioida sekä ympäristön, että kaukolämpöverkon väliaineen lämpötilat. Ympäristön lämpötila kaukolämpökaivoissa voi vaihdella $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ välillä. Väliaineen lämpötila voi Suomessa olla lämmityskaudella menoputkistossa jopa $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$. Paineanturin valinnassa tuli lisäksi kiinnittää huomiota anturin soveltuvuuteen kaukolämmön siirto- ja jakeluverkossa käytetylle väliaineelle, sillä anturi oli kosketuksissa väliaineen kanssa.

Kummankin venttiilielementin toiseen antureita varten tehtyyn anturitaskuun sijoitettiin lämpötila- ja kiihtyvyysanturit, joiden avulla pystytään mittaamaan putkistossa kulkevan kaukolämpöveden lämpötilaa sekä rakenteiden tärinää. Tärinän perusteella pystytään tarkastelemaan venttiilin, sekä putkiston ja tukirakenteiden kunnon lisäksi myös paineiskuja. Lämpötila- ja kiihtyvyysanturit integroitiin yhdeksi komponentiksi asennuksen helpottamiseksi. Koska anturit oli integroitu yhteen komponenttiin, voitiin molemmat mitatasignaalit johdottaa anturipaketilta yhdellä kaapelilla. Tällöin anturitaskun korkkiin tarvittiin vain yksi kaapeliläpivienti. Kummankin venttiilielementin toisella puolella pääsulkuventtiiliä oleva anturitasku jäi varalle tulevaisuutta varten, mikäli halutaan jälkikäteen lisätä esimerkiksi lämpötilan mittausta varten anturi myös toiselle puolelle pääsulkuventtiiliä. Näiden tulevaisuuden varalle tehtyjen anturitaskujen kaapeliläpiviennit tulpattiin.

Molemmiin puolin pääventtiiliä sijoitettuihin ilmausventtiileihin kiinnitettiin ilmauskor-
kin tilalle adapterit paineantureiden kytkemistä varten. Adapterien toisessa päässä oli pai-
neenkestävä korkki, jonka kautta siirto- ja jakeluverkon ilmaus tapahtui. Ilmausventtiilien
tulee olla jatkuvasti auki, jotta paine pääsee paineantureille ja saadaan jatkuvasti toden-
mukaista mittauksia. Tästä syystä adaptereihin tulevat korkit piti suunnitella painetta
kestäviksi. Paineanturit sijoitettiin molemmiin puolin pääventtiiliä, jotta pystytään selvit-
tämään paine-ero venttiilin yli. Paine-eron avulla pystytään laskemaan karkea arvo vir-
tauksen määrästä, sillä venttiilin koko ja virtausvastusarvo tiedetään. Kuvassa 26 on esi-
tetty mittakuva venttiilielementistä, jossa näkyvät antureiden sijainnit.



Kuva 26. Mittakuva älyventtiilielementistä.

Lisäksi kokonaisuuteen kuului elektroniikkayksikkö, joka sijoitettiin eristeen päälle venttiilikaivoon ja joka sisälsi kaivon lämpötilaa mittaavan anturin sekä ympäristön kosteutta mittaavan anturin. Niiden lisäksi myös eristeen sisällä sijaitsevien lämpötila- ja kiihtyvyyssantureiden sekä paineantureiden mittasignaalit johdotettiin elektroniikkayksikköön. Antureiden vaatiman sähkönsyötön varmistamiseksi elektroniikkayksikköön sijoitettiin akut, joita ladataan jatkuvasti niin sanotun termoelektronisen generaattorin avulla.

Termoelektronista generaattoria varten eristeeseen tehtiin toiselle puolelle pääventtiiliä anturitaskun lisäksi toinen eristetasku, jonka kautta venttiilin runkoon kiinnitettiin lämpöä johtava alumiinitanko. Alumiinitangon ja eristeen väli tiivistettiin ja eristettiin tangon yläpintaa lukuun ottamatta. Generaattori asennettiin kyseiselle pinnalle alumiinitangon yläpäähän. Sen avulla muunnetaan venttiilin rungon ja alumiinitangon kautta johtuneen väliaineen lämpötilan ja ympäristön lämpötilan välisestä lämpötilaerosta sähköenergiaa ja ladataan siten elektroniikkayksikössä sijaitsevia akkuja sekä tuotetaan sähköä antureille. Mikäli lämpötilaero on esimerkiksi kesäaikaan niin vähäinen, ettei sähköenergia riitä antureiden toiminnan varmistamiseksi, voidaan akkuja käyttää itsenäisesti ja varauksen loputtua akut voidaan vaihtaa.

Elektroniikkayksikön tehtävänä on vastaanottaa mittaustietoa antureilta ja lähettää sitä langattomasti eteenpäin pilvipalveluun, jonka kautta Vexven loppuasiakas voi tarkastella mittaustietoa milloin tahansa helposti etänä. Elektroniikkayksikön kautta mittaustiedot siirretään langattomasti pilvipalveluun kymmenen minuutin lähetystaajuudella. Koska langaton tiedonsiirto tapahtuu osittain maan alla, valittiin lähetystavaksi Lorawan-verkko. Sen kuuluvuus maan alla on parempi kuin 3G/4G-verkon. Mittaustiedoista voidaan määrittää eri suureiden trendejä ja niiden avulla voidaan seurata mm. venttiilien kuntoa, putkiston kuntoa, paine-eroa ja lämpötilavaihteluja. Näiden tietojen perusteella voidaan paikallistaa vuotoja. Loppuasiakas voi käyttää mittaustietoja verkon käytön optimoimisessa, hyötysuhteen kasvattamisessa ja vuotojen havainnoinnissa.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Vuotojen paikallistamisessa anturoinnin avulla ja vuotokohdan nopeassa kaukolämpöverkosta erottamisessa etäohjattavien venttiilien avulla kaikki haastatellut energiayhtiöiden edustajat näkivät sekä liiketoiminnallisen edun että yritysimagea parantavan puolen. Haastatellut energiayhtiöt näkivät yritysimageon erittäin tärkeänä elementtinä kaukolämpöalalla, sillä kilpailevia lämmitysmuotoja, kuten maalämpö ja ilmalämpöpumpputekniikka, on tullut markkinoille. Liiketoiminnallinen etu puolestaan syntyy haastattelujen perusteella, kun nopean reagointikyvyn avulla vuototilanteessa voidaan säästää huomattavasti kustannuksia.

Eräs haastateltu kertoi esimerkin, jossa vuoto alkoi noin kello kuudelta illalla ja sen paikallistamiseen kului noin kahdeksan tuntia aikaa. Valvomon mittaushistoriasta pystyttiin päättämään hyvin suurpiirteisesti vuotoalue ja huoltohenkilökunta lähetettiin etsimään vuotoa, kuitenkin tuloksetta. Myös hätäkeskuksesta pyydettiin tietoja mahdollisista ilmoituksista sulista kohdista teillä ja vartiointiliikkeiltä tietoja ilmoituksista julkisten rakennusten alueilta, joihin energiayhtiön huoltohenkilökunnalla ei ollut pääsyä ilta-aikaan.

Lopulta eräs vartiointiliike ilmoittikin autotallin oven alta vuotavasta vedestä ja selvisi, että kuluttaja oli sulkenut venttiilit, sillä rakennus ei ollut jatkuvassa käytössä eikä lämmitystä siis tarvittu, ja putkisto oli jäänyt rikki. Tämän kahdeksan tunnin aikana lisävetä pumpattiin kaukolämpöverkkoon 600 000 litraa, mistä kustannuksia syntyi 6 000 euroa. Lisäksi kustannuksia syntyi huoltohenkilökunnan henkilöstökustannuksista, eli yhteenvetona voidaan sanoa, että yhdestä pienestäkin vuodosta voi syntyä jopa 10 000 euron kustannukset energiayhtiöille.

Kaukolämpöverkon tasapainottamisella eri vuodenaikoina ja vuorokauden aikoina ja silmukoiden katkaisemisella tarvittaessa mittausten ja etäohjauksen avulla pystytään parantamaan kaukolämpöverkon hyötysuhdetta. Tällöin vältetään ylimääräiseltä pumppaukselta ja voidaan optimoida kaukolämpöverkon ajoa. Erään haastatellun mukaan prosentin parannus kaukolämpöverkon hyötysuhteessa voi tuoda verkon koosta riippuen vuosittain jopa satojen tuhansien eurojen säästöt energiayhtiöille.

Vexven toteuttama prototyyppi älykkäästä venttiilielementistä toteuttaa lähes kaikki haastateltujen energiayhtiöiden mittauksilta toivomat ominaisuudet virtausmittausta lukuun ottamatta. Lisäksi prototyypistä puuttuu venttiilien etäohjausmahdollisuus, mutta Vexvellä on kuitenkin olemassa ratkaisuja myös etäohjaukseen, kuten on esitelty luvussa 3.2.4. Prototyypin kustannusseurannan avulla voidaan päätellä, että venttiilin yhteyteen lisättävän mitta-anturikokonaisuuden hinta on pieni verrattuna sen avulla saavutettaviin säästöihin.

Taulukkoon 5 on koottu lyhyt yhteenveto työn keskeisestä sisällöstä. Taulukossa on esitelty lyhyesti työn tarkoitus, käytetyt tutkimusmenetelmät sekä tärkeimmät tulokset. Taulukossa on myös esitelty lyhyesti Vexven toteuttama prototyyppi älykkäästä venttiilielementistä.

Taulukko 5. Yhteenveto työn sisällöstä.

Työn tarkoitus	Kaukolämpöverkon älykkäiden ratkaisujen nykytilanteen kartoitus ja lisäämistarpeen selvittäminen markkinoilta
Tutkimusmenetelmä	Kvalitatiivinen haastattelututkimus
Kohderyhmä	Suomalaiset energiayhtiöt, tutkimukseen osallistui yhteensä viisi energiayhtiötä
Nykytilanne	Mittauksia löytyy kaikilta haastatelluilta energiayhtiöiltä kaukolämpöverkosta voimalaitoksilta, pumppaamoilta ja välitasemilta Myös kaukolämpöverkosta mittauksia löytyy kolmelta haastatellulta energiayhtiöltä Etäohjattavia venttiileitä löytyy haastatelluilta vain voimalaitoksen päästä ja haarakohdista Automaattinen kaivon kunnonvalvontalaitteisto löytyy yhdeltä haastatellulta energiayhtiöltä
Tulevaisuuden toiveet	Mittauksien ja etäohjattavien venttiilien lisääminen kaukolämpöverkkoon Verkon tasapainottaminen, vuotojen nopeampi havainnointi ja paikallistaminen Kaivon automaattisen kunnonvalvonnan kehittäminen Bonuspistejärjestelmät, kaksisuuntaisuus, sähköiset huolto-lokit
Vexven ratkaisu	Prototyyppi älykkäästä venttiilielementistä, joka sisälsi venttiilien lisäksi paine-, lämpötila-, kiihtyvyys- ja kosteusanturit sekä termoelektronisen generaattorin ja tiedonsiirtoon tarvittavat komponentit Venttiilien etäohjaukseen tarkoitetut ohjausyksiköt hydraulisin toimilaittein varustetuille venttiileille

Seuraava askel prototyypin kehittämisessä on virtausmittauksen lisääminen, jolloin tulee pohtia muun muassa sitä, millaisia virtausantureita on saatavilla ja miten ne olisi mahdollista liittää myös olemassa olevaan putkistoon. Myös etäohjattavan venttiilin liittäminen

osaksi mittausten kanssa samaa älykästä kokonaisuutta tulee jatkokehityksessä kyseen. Energiayhtiöiden haastatteluissa selvisi, että energiayhtiöillä on hyvin monenlaisia prosessinohjausjärjestelmiä käytössä, joten älykkään venttiilielementin jatkokehityksessä tulee pohtia tiedonsiirtorajapinnan toteutusta ja yhteensoveltuvuutta useisiin erilaisiin prosessinohjausjärjestelmiin. Lisäksi kokonaisuuden kustannustehokkuutta on pyrittävä parantamaan, jotta pystytään tarjoamaan kilpailukykyinen ratkaisu energiayhtiöille. Kustannustehokkuuden parantamiseksi voidaan pyrkiä käyttämään esimerkiksi monen eri suureen mittaukseen tarkoitettuja yhdistelmäantureita.

Tutkimuksen tulokset olivat odotetun kaltaisia. Kokonaisuudessaan työ onnistui hyvin, haluttuihin tavoitteisiin päästiin ja saatiin arvokasta lisätietoa markkinoista tuotekehitysprojektin eteenpäin viemiseksi. Lisätietoa saatiin etenkin älykkäiden ratkaisuiden merkityksestä energiayhtiöille ja voitiin varmistua siitä, että älykkäiden ratkaisujen tuomista venttiilielementtien yhteyteen on mielekasta kehittää myös tulevaisuudessa eteenpäin. Haastattelut sujuivat hyvin ja haastatellut energiayhtiöt olivat hyvin innostuneita työn aiheesta, mikä teki haastattelutilanteet erittäin joutuisiksi. Myös prototyypin kehittäminen sujui hyvin ja oli erittäin mielenkiintoista. Haastavin osa työssä oli haastattelujen litterointi ja tulosten analysointi.

LÄHTEET

Airila, M., Ekman, K., Hautala, P., Kivioja, S., Kleimola, M., Martikka, H., Miettinen, I., Niemi, E., Ranta, A., Rinkinen, J., Salonen, P., Verho, A., Vilenius, M., Välimaa V. (1995). Koneenosien suunnittelu, WSOY:n graafiset laitokset, Juva, Suomi, s. 669 - 690.

Areva GmbH. (2015). Online Valve and Drive Diagnostics - ADAM[®] and SIPLUG[®], 2 p. Saatavissa (viitattu 11.8.2017): http://de.areva.com/customer/liblocal/docs/KUNDEN-PORTAL/PRODUKTBROSCHUEREN/Broschüren%20nach%20Nummer/239-V2-ADAMandSIPLUG_en-Web.pdf

Auma Finland Oy. (2015). Sähkötoimilaitteet teollisuusventtiilien automaatioon, 88 s. Saatavissa (viitattu 29.7.2017): http://www1.auma.com/uploads/media/sp_import2/prospekte/pb_modular_range_fi.pdf

BROEN Butterfly valves, Triple eccentric butterfly valves. Broen Valve Technologies, 56 p. Saatavissa (viitattu 17.5.2017): <http://www.armetal.eu/images/broen-butterfly.pdf>

Budampati, R., Kolavennu, S. (2016). Industrial Wireless Sensor Networks – Monitoring, Control and Automation, Woodhead publishing Series in Electronic and Optical Materials, Elsevier Science, Cambridge, UK, Waltham, USA, Kidlington, UK, 252 p.

Eskelinen, H., Karsikas, S. (2014). Tutkimusmetodiikan perusteet, Hansaprint Oy, Direct Vantaa, Suomi, 224 s.

Fimator Oy. (2017). verkkosivu Saatavissa (viitattu 11.11.2017): <http://www.fimator.fi/Tuotteet/Valvontalaitteet>

Flowserve Corporation. (2007). StarPac 3 – Intelligent Control System, Irving, USA, 8 p. Saatavissa (viitattu 23.7.2017): https://www.flowserve.com/sites/default/files/2016-07/VLENBR0066_2.pdf

Halme, M., Hukkinen, J., Korppi-Tommola, J., Linnanen, L., Liski, M., Lovio, R., Lund, P., Luukkanen, J., Partanen, J., Wilenius, M., Nokso-Koivisto, O. (2015). Maamme energia, Jelgava Printing House, Latvia, 145 s.

Heinonkoski, R. (2013). Kone- ja prosessiautomaation kunnossapito, Juvenes Print – Suomen Yliopistopaino Oy, Tampere, Suomi, s. 13, 48-51, 145-147

Hirsjärvi, S., Hurme, H. (2000). Tutkimushaastattelu – Teemahaastattelun teoria ja käytäntö, Helsinki University Press, Helsinki, Suomi, 213 s.

Karjalainen, T., Luoma, P., Metsämuuronen, J., Rantala, T., Reinikainen, K., Remes, L., Sandelin-Benkö, S., Virtanen, J. (2006). Laadullisen tutkimuksen käsikirja, Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä, Suomi, 750 s.

Klinger Finland Oy. (2016). Palloventtiilit Klinger Ballostar, KHA, 17 s. Saatavissa (viitattu 22.7.2017): <https://www.klinger.fi/wp-content/uploads/2016/09/KLINGER-Ballos-tar.pdf>

Koskelainen, L., Saarela, R., Sipilä, K. (2006). Kaukolämmön käsikirja, Kirjapaino Libris Oy, Helsinki, Suomi, 566 s.

Lassila, R., Aho, T., Kivirinne, J., Kuorttinen, M., Miettinen, J., Mäntylä, T., Ojansuu, H., Parpola, J., Simola, A., Muukkonen, H., Uotila, O., Sirola, V-P. (2010). Kaukolämpöverkon sulkulaitteiden käyttötekniinen suunnittelu – Suositus KK11/2010, 20 s. Saatavissa (viitattu 14.4.2017): http://energia.fi/files/838/SuositusKK11_2010.pdf

Metso Flow Control Inc. (2016). Neldisc® - Metallitiivisteinen kolmoisepäkeskeinen läppäventtiili, Sarjat L6, 4, Asennus-, käyttö- ja huolto-ohjeet. 28 s. Saatavissa (viitattu 29.4.2017): <http://valveproducts.metso.com/documents/nelles/IMOs/fi/2L670fi.pdf>

Perttula, J. (2000). Energiatekniikka, Werner Söderström Osakeyhtiö, Porvoo, Suomi, s.169-197.

Raivio, T., Syrjänen, M. (2005). Automaatio ja Tekes – Näkökulma teollisen alan teknologiaohjelmatoimintaan, Teknologiaohjelmaraaportti 8/2005, TEKES, 81 s. Saatavissa (viitattu 18.8.2017): https://www.tekes.fi/globalassets/julkaisut/automaatio_ja_tekes.pdf

Smith, P., Zappe, R.W. (2004). Valve selection Handbook. 5th edition, Elsevier Inc., Burlington, USA, 399 p.

STUK. (2008). Ohje YVL 5.3/28.4.2008, Ydinlaitosten venttiiliyksiköt, 13 s. Saatavissa (viitattu 11.8.2017): <http://www.finlex.fi/data/normit/3065/YVL5-3.pdf>

Vexve Oy. (2017a). Linjasäätöventtiilit teräs ja haponkestävä asennus-, käyttö- ja huolto-ohjeet, 32 s. Saatavissa (viitattu 17.4.2017): https://vexve.studio.crasman.fi/file/dl/i/hBJFIQ/VA1IZ1vLXFgvt0i0fN61Pw/Vexve-Balancing_valves-manual-FI.pdf

Vexve Oy. (2016a). HydroX – Hydraulisen ohjauksen ratkaisut, 16 s. Saatavissa (viitattu 29.7.2017): https://vexve.studio.crasman.fi/file/dl/i/qsL5lg/0Shjkbm9dRlittBx_Fh1lQ/Vexve-Hydrox_Solutions-FI-2016pdf

Vexve Oy. (2016b). Läppäventtiili, asennus-, käyttö- ja huolto-ohjeet, 32 s. Saatavissa (viitattu 22.4.2017): https://vexve.studio.crasman.fi/file/dl/i/ah12Ng/eHh28ZchpAz-mCz6pNz2WYA/Vexve_Butterfly_valve_manual_FI.pdf

Vexve Oy. (2017b). Teräspalloventtiilit asennus-, käyttö- ja huolto-ohjeet, 32 s. Saatavissa (viitattu 17.4.2017): https://vexve.studio.crasman.fi/file/dl/i/gAYAIA/nSyvQV68gZscUio2JHVNxg/Vexve-Steel_ball_valves-manual-FI-2017.pdf

Vexve Oy. (2017c). verkkosivu Saatavissa (viitattu 29.4.2017): <https://www.vexve.com/fi/>

VTT Energia. (1999). Energia Suomessa – Tekniikka, talous ja ympäristövaikutukset, Oy Edita AB, Helsinki, Suomi, 368 s.

Värjä, P., Mikkola, J-P. (2012). Uusi kiinteistöautomaatio – Automaatio- ja säätötekniikka, Multiprint Oy, Kuusankoski, Suomi, 208 s.

Wiltshire, R. (2015). Advanced District Heating and Cooling (DHC) Systems, Woodhead publishing Series in Energy, Elsevier Science, Cambridge, UK, Waltham, USA, Kidlington, UK, 365 p.

LIITE A: YHTEYDENOTTO

Hei,

Olen Riina Lahti ja työskentelen Vexve Oy:llä tuoteryhmävastaavana. Teen lisäksi töiden ohella diplomityötäni Tampereen Teknilliseen Yliopistoon ja tavoitteenani on valmistua vuoden 2017 loppuun mennessä.

Diplomityöni tarkoituksena on kartoittaa millaisia älykkäitä ratkaisuja kaukolämpöverkoissa Suomessa on jo tällä hetkellä käytössä ja millaisille älykkäille ratkaisuille kaukolämpöyhtiöillä olisi tarvetta jatkossa. Älykkäät ratkaisut voivat liittyä esimerkiksi venttiilien ohjaukseen tai verkon anturointiin kunnossapidon helpottamiseksi. Saamieni tulosten perusteella tarkoitukseni on pohtia miten

Tutkimukseni toteuttamiseksi tarkoitukseni on haastatella suomalaisten kaukolämpöyhtiöiden edustajia. Toiveenani olisi, että haastatteluun osallistuisi henkilöitä eri funktioista, eli esimerkiksi käytön ja kunnossapidon sekä liiketoiminnan puolelta. Tällöin saisin työhöni niin teknistä näkökulmaa kuin myös liiketoiminnallista näkökulmaa. Haastattelun kesto olisi noin 1-2 tuntia ja toiveena olisi, että haastattelu ajoittuisi elo-syyskuulle. Tulen mielelläni paikanpäälle toteuttamaan haastattelun.

Haastattelut tehdään täysin anonymisti ja yhdenkään haastatteluun osallistuneen henkilön henkilöllisyyttä tai edustamaa kaukolämpöyhtiötä ei mainita työssä.

Sopisiko teille haastattelun järjestäminen elo- tai syyskuulle?

Kiitos jo etukäteen vastauksestanne!

Ystävällisin terveisin/With Best Regards,

Riina Lahti | Product Group Responsible | Tel. +358 50 339 4590 | riina.lahti@vexve.com
Vexve Oy | Pajakatu 11 | FI-38200 Sastamala | FINLAND | www.vexve.com
Vexve – Keep energy under control

LIITE B: HAASTATTELURUNKO

Tähän liitteeseen on kerätty kysymyksiä, jotka muodostivat haastattelun rungon. Ensimmäisenä selvitettiin perustiedot haastateltavasta ja energiayhtiöstä, johon kyseinen henkilö kuuluu:

1. Selvitettiin taustatiedot energiayhtiöstä, esimerkiksi henkilöstömäärä, kaukolämpöverkon koko ja kuluttajamäärä.
2. Selvitettiin taustatiedot haastateltavasta henkilöstä, kuten ikä, työtehtävät ja työhistoria.

Seuraavaksi kartoitettiin millaisia ratkaisuja energiayhtiöissä on käytössä nykyisellään. Keskeisiä kysymyksiä liittyen tähän haastattelun osa-alueeseen on esitetty seuraavaksi.

3. Aluksi selvitettiin kaukolämpöverkon ohjaustavat; miten kaukolämpöverkkoa ohjataan ja kuka sitä ohjaa.
4. Seuraavaksi selvitettiin kaukolämpöverkon huolto- ja ylläpitomenetelmiä; mistä ja miten saadaan tiedot vikatilanteista sekä miten niihin reagoidaan.
5. Lopuksi selvitettiin automaation taso energiayhtiön toiminnoissa; muun muassa millaisia älykkäitä ratkaisuja on käytetty voimalaitoksen sisäisissä prosesseissa, kuka niitä ohjaa ja miten.

Sitä, millaisia toiveita haastateltavilla on automaation lisäämiselle kaukolämpöverkkoihin, käsiteltiin seuraavaksi. Tähän osa-alueeseen liittyvät teemat olivat:

6. Kaukolämpöverkon huollon ja ylläpidon kehittämiseksi selvitettiin mitä tietoa kaukolämpöverkosta halutaan kerätä automaattisesti, esimerkiksi millaisia suureita halutaan mitata.
7. Kaukolämpöverkon ohjaustapojen kehitystä selvitettiin kartoittamalla, miten verkkoa halutaan ohjata tai säätää; olisiko täysin automatisoitu ratkaisu toimiva, vai riittäisikö esimerkiksi etäohjausmahdollisuus.

Lopuksi selvitettiin, miten haastateltavat kokevat älykkäiden ratkaisujen vaikuttavan liiketoimintaansa:

8. Selvitettiin, millaisia hyötyjä älykkäistä ratkaisuista olisi energiayhtiön liiketoiminnalle.
9. Lisäksi selvitettiin, kuinka tarpeellisenä haastateltavat pitävät kaukolämpöverkon älykästä ohjausta.